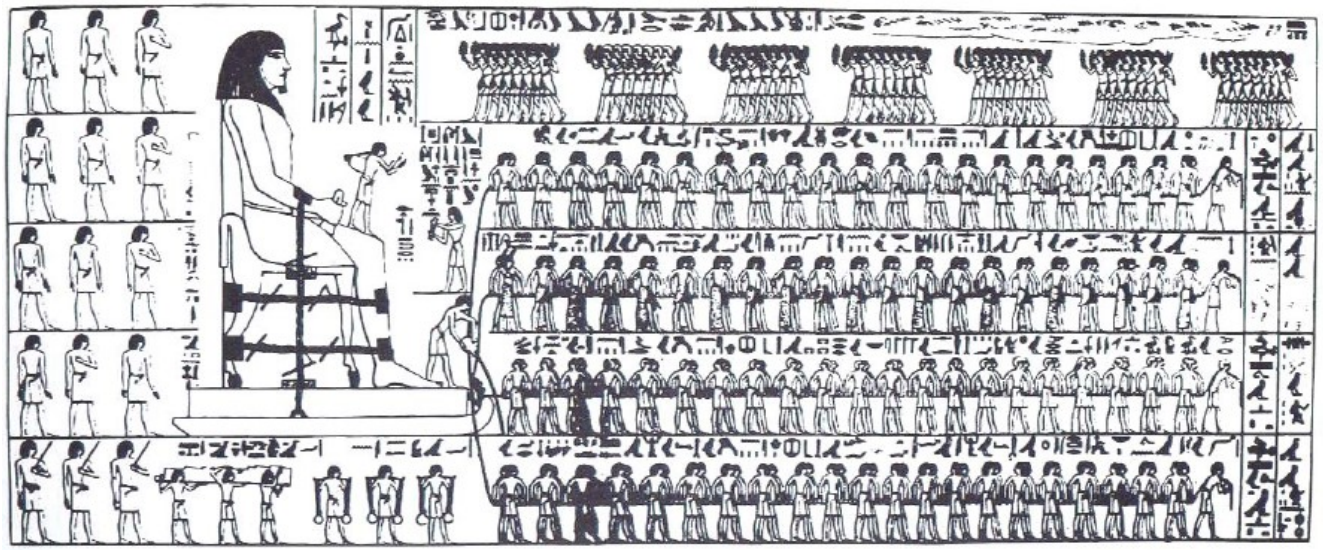
FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGIA

GABRIEL BARRIENTOS - 2026

DEPARTAMENTO INGENIERIA MECANICA - UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Lubricación:
Primeras señales: Egipto 4000 AC:

A aplicação de princípios tribológicos na redução do atrito em movimentos lineares pode ser constatado, também, no antigo Egito. Ilustrações na forma de baixo relevo mostram o uso de rolos e pranchas para transportar figuras colossais. A figura 1.3 mostra um exemplo desse tipo de transporte: nesta 172 escravos são empregados para puxar uma grande estátua pesando cerca de $6X10^5$ newtons (60 ton.). O desenho mostra um homem sobre o trenó colocando um líquido na sua frente. Possivelmente um dos primeiros preocupados com a lubrificação. Esta figura mostra também, homens carregando pranchas planas e jarros contendo, possivelmente lubrificante.



Mural datado del año 1.880 a. C. situado en la tumba de Tehuti-Hetep, El Bersheh (Egipto) [1]. Nótese la presencia del hombre situado en la parte delantera del patín y que está añadiendo un fluido en la superficie sobre la que se desliza la escultura.

Se assumirmos que cada escravo possa exercer uma força de 800N, o coeficiente de atrito seria:

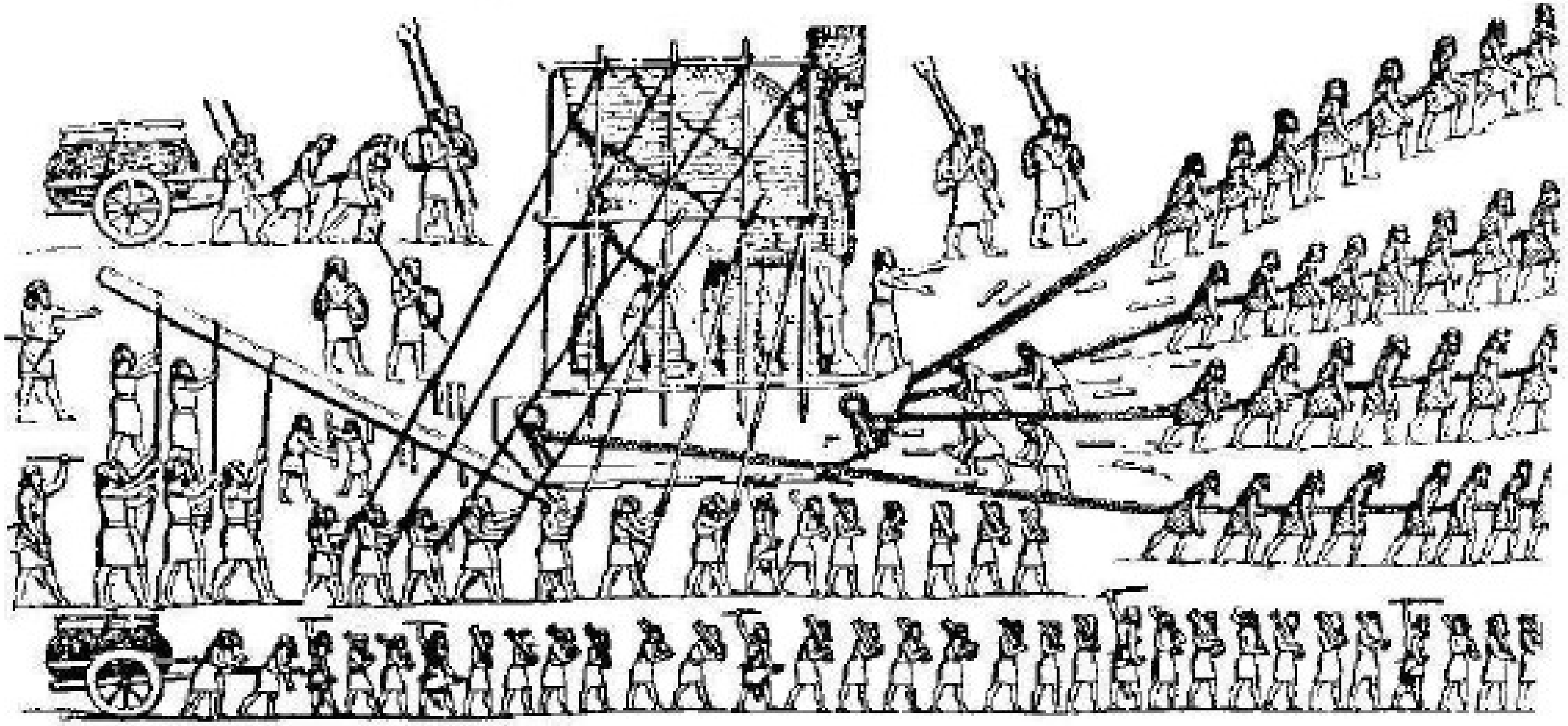
$$\mu = \frac{(172*800)}{6\,X10^5} = 0{,}23$$

O trabalho de Bowden e Tabor de 1950 fornecem os seguintes valores para o coeficiente de atrito entre madeira e madeira:

- 0,2 para madeira molhada
- de 0,25 a 0,50 para madeira seca e limpa

É possível deduzir, portanto, que o trenó estivesse deslizando sobre pranchas de madeira lubrificadas.

Um outro exemplo, citado por Harris (1966) em seu livro sobre mancais de rolamento, refere-se a uma ilustração mostrando assírios movimentando um enorme bloco de pedra apoiado em pranchas dispostas sobre roletes. A data provável é 1100 A.C., o peso do bloco e treno foi estimado em 7 X 10^4 N (7 ton.), e o número máximo de homens puxando igual a 8.



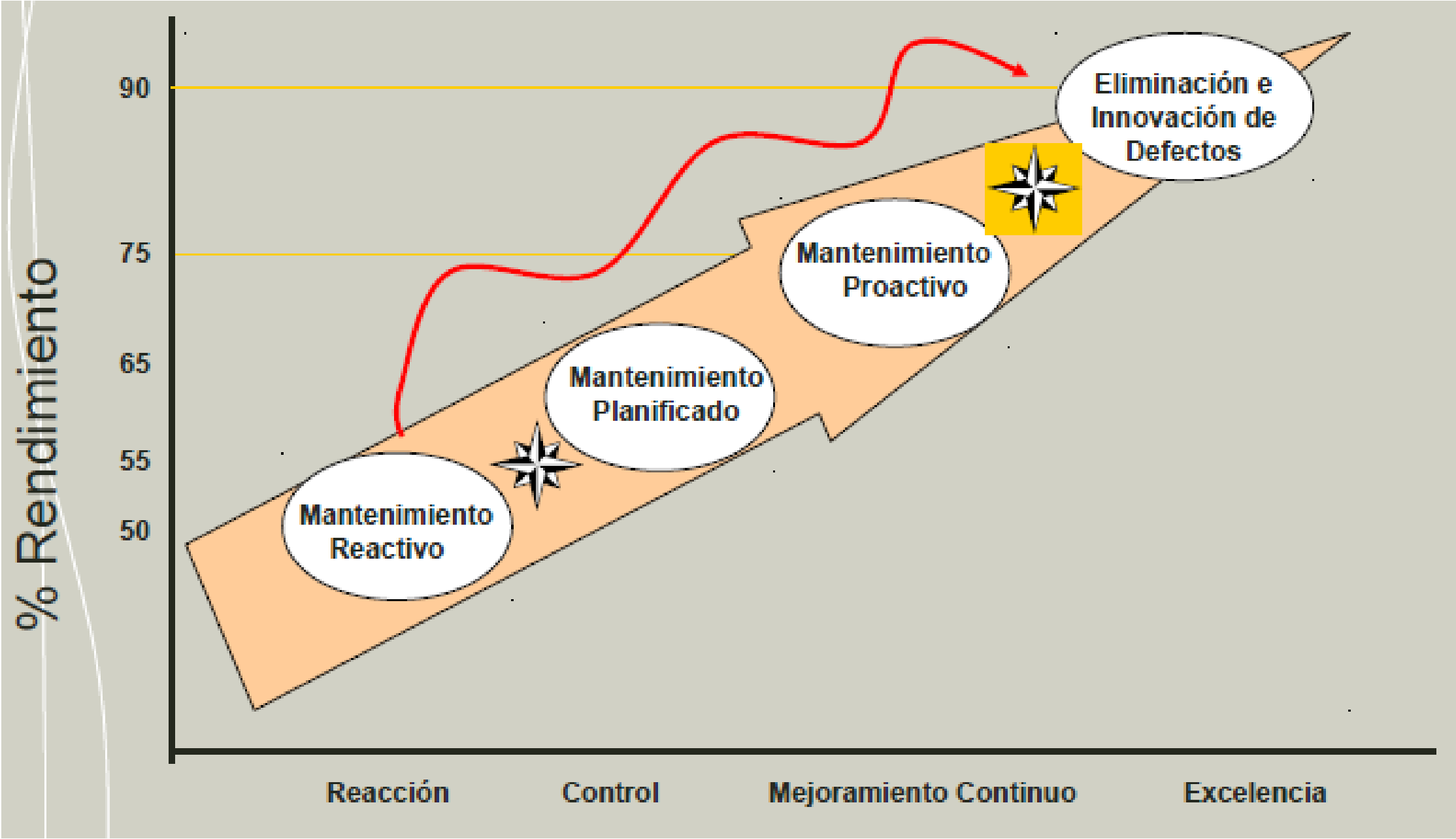
Assumindo que cada escravo pudesse exercer também uma força de 800 N, o coeficiente de atrito de rolamento correspondente seria de :

$$\mu_r = \frac{(32*800)}{7\,X10^5} = 0{,}04$$

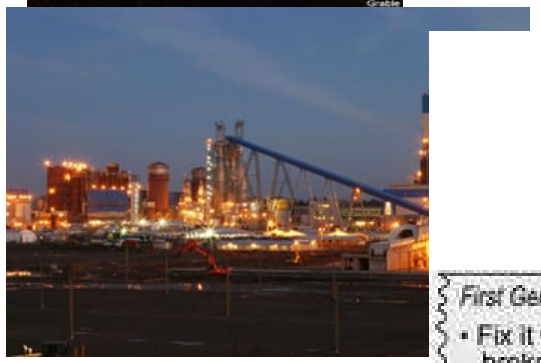
Los análisis de lubricantes, combustibles y otros fluidos proporcionan información crítica, clave indicativa de alerta temprana de la máquina a fallar.

El análisis y la tendencia de los datos significa que se puede programar el mantenimiento antes que una falla crítica ocurra.

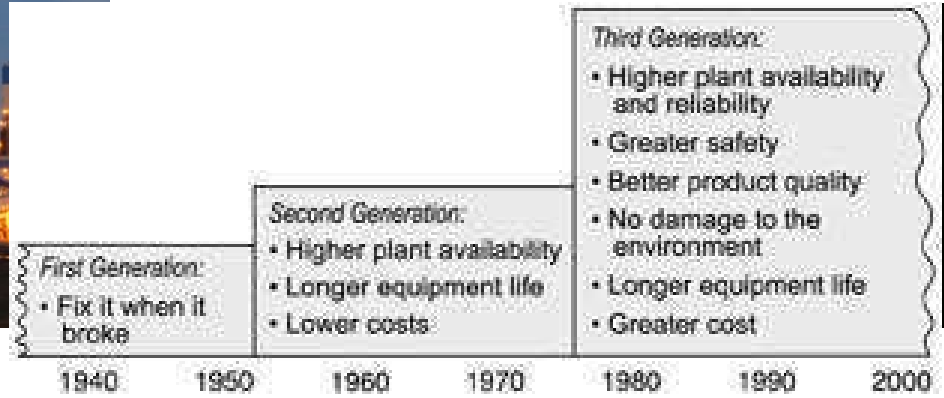
El resultado: mayor disponibilidad de equipos y productividad, menores costos de mantenimiento, menor costo total, menos interrupciones, equipo de óptimo rendimiento y una operación más ecológica.

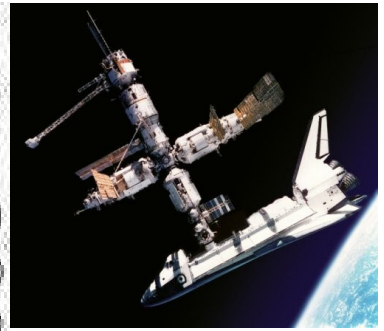

% Rendimiento
90
75
65
55
50
Mantenimiento Reactivo
Mantenimiento Planificado
Mantenimiento Proactivo
Eliminación e Innovación de Defectos
Reacción
Control
Mejoramiento Continuo
Excelencia

Evolución del Mantenimiento

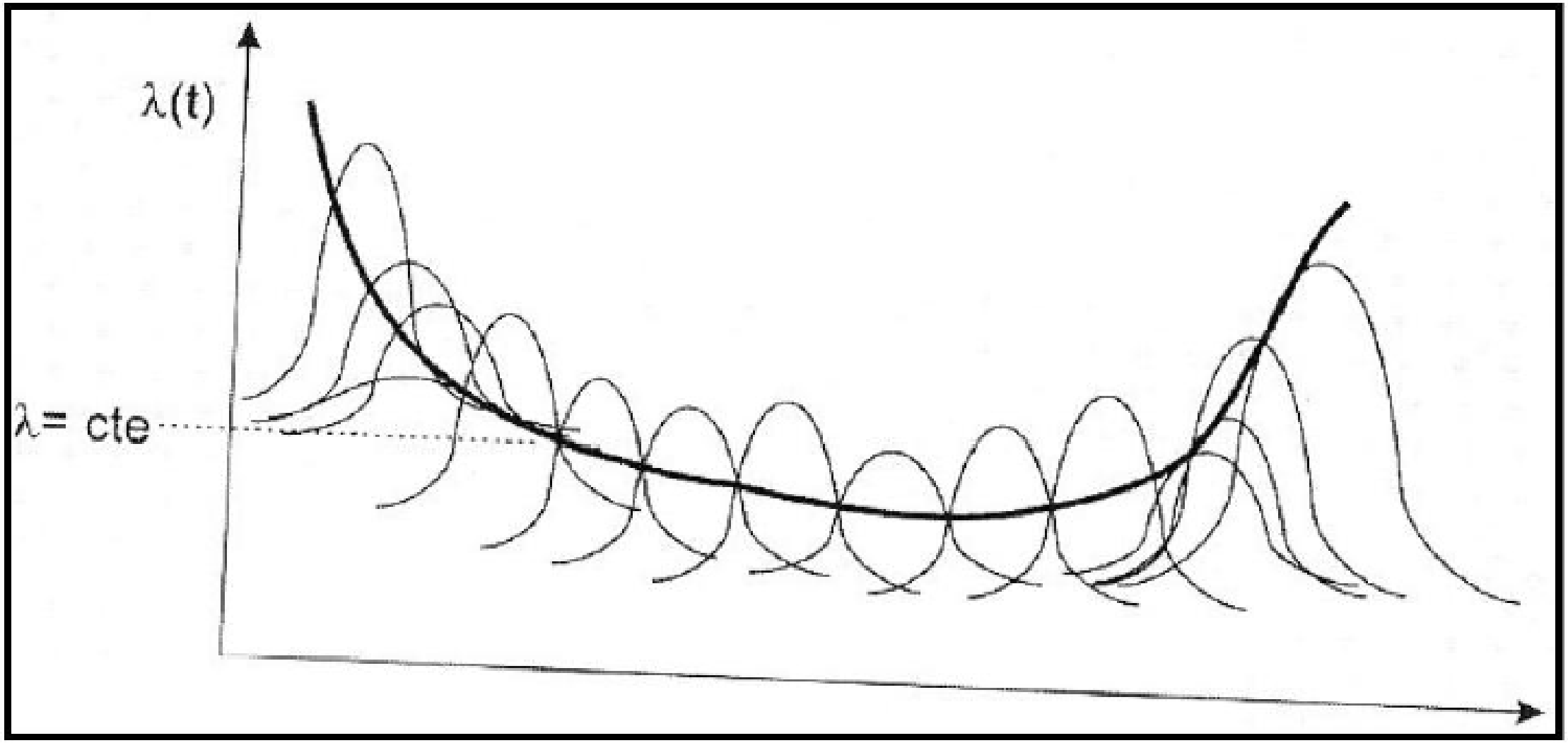


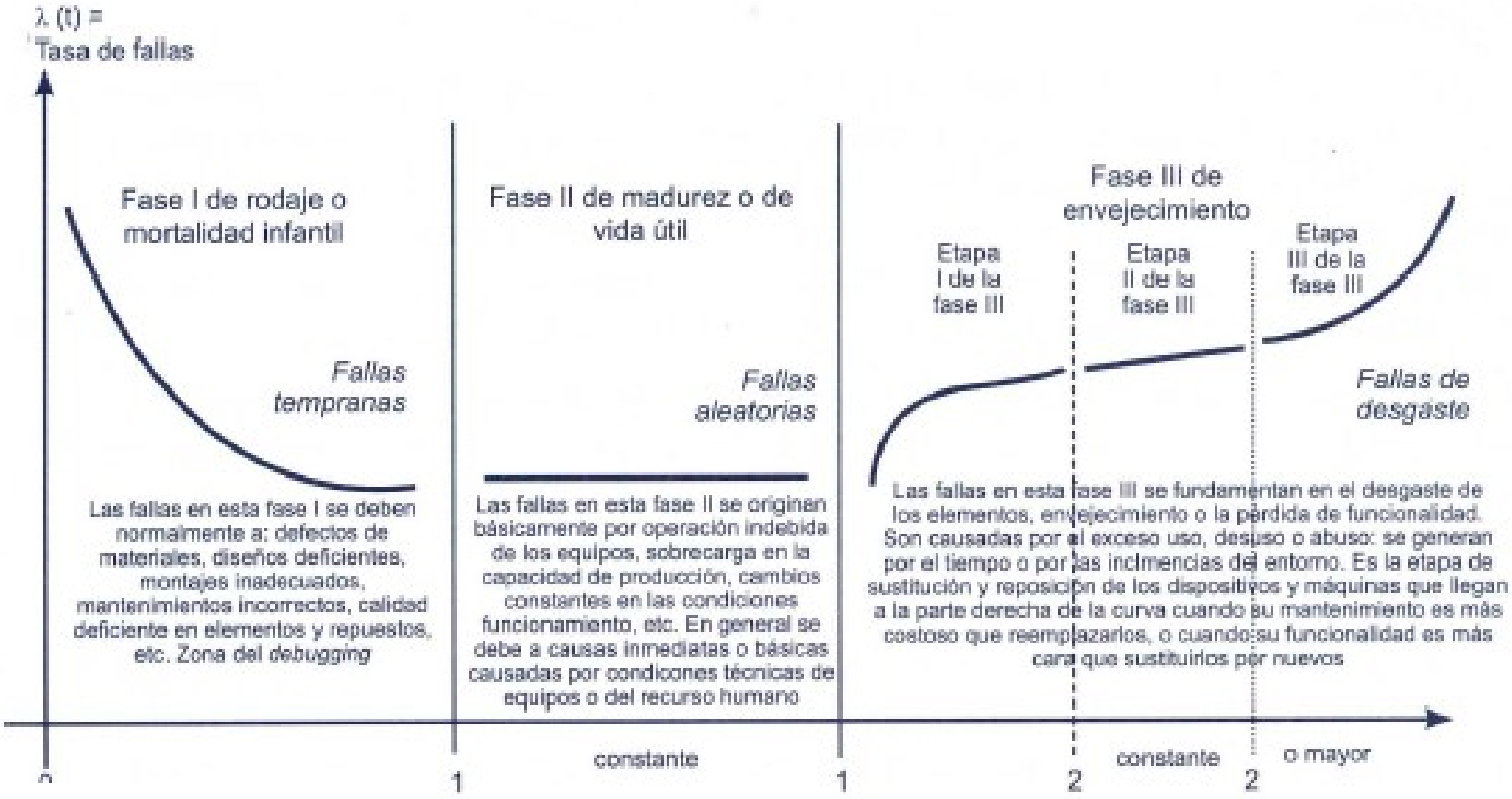
1ºGENERACIÓN	2ºGENERACIÓN	3ºGENERACIÓN	4ºGENERACIÓN
.REPARAR AVERÍAS .MANTENIMIENTO CORRECTIVO	.RELACIÓN ENTRE PROBABILIDAD DE FALLO Y EDAD. .MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO. .SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN.	.MANTENIMIENTO PREVENTIVO CONDICIONAL .ANÁLISIS CAUSA EFECTO .PARTICIPACIÓN DE PRODUCCIÓN (TPM)	.PROCESO DE MANTENIMIENTO .CALIDAD TOTAL .MANTENIMIENTO FUENTE DE BENEFICIOS .COMPROMISO DE TODOS LOS DEPARTAMENTOS .MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (RBM)
HASTA 1945	1945-1980	1980+1990	1990+



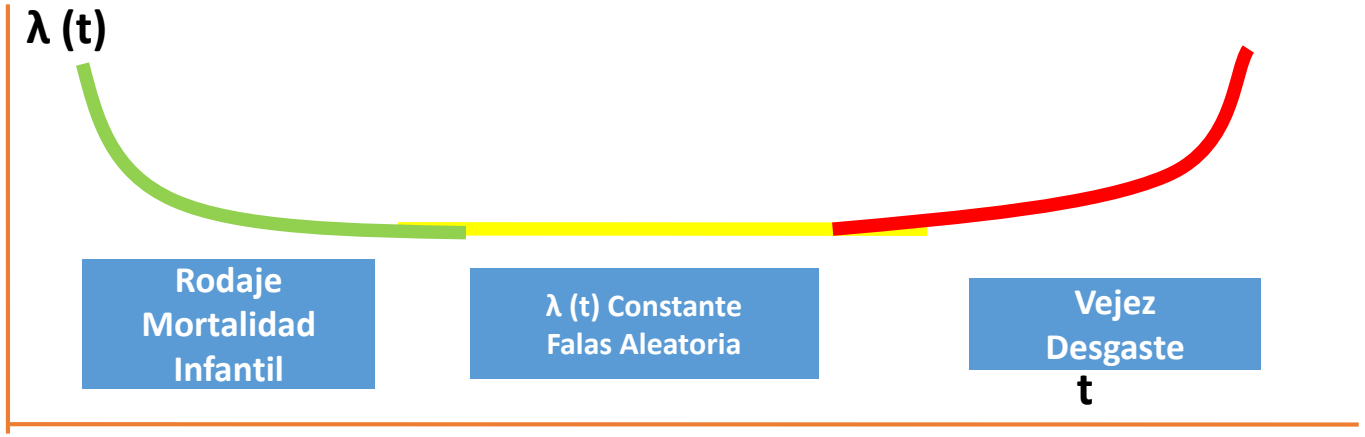


……??????


λ(t)
λ= cte

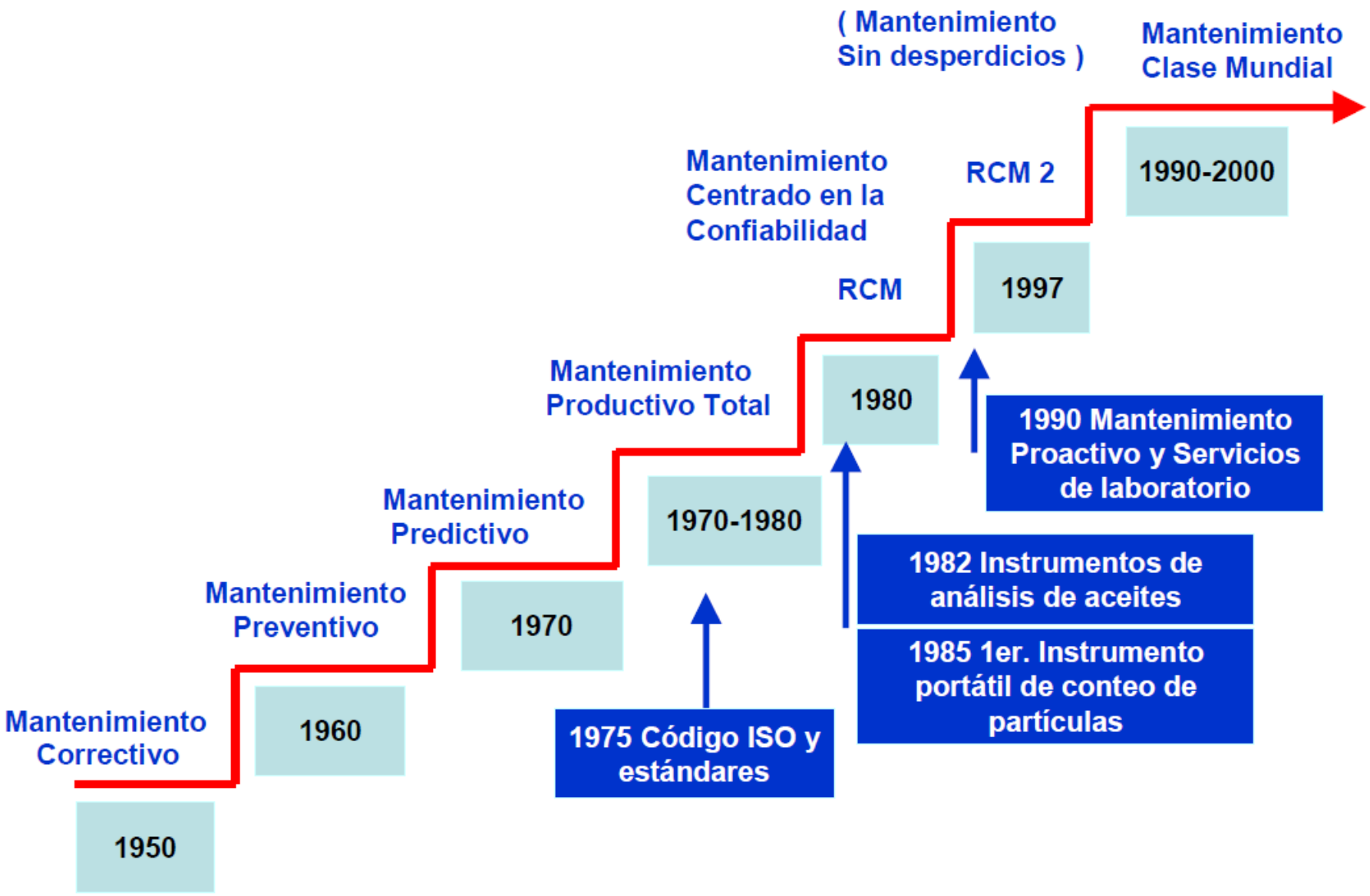

λ (t) =
Tasa de fallas
Fase I de rodaje o mortalidad infantil
Fallas tempranas
Las fallas en esta fase I se deben normalmente a: defectos de materiales, diseños deficientes, montajes inadecuados, mantenimientos incorrectos, calidad deficiente en elementos y repuestos, etc. Zona del debugging
Fase II de madurez o de vida útil
Fallas aleatorias
Las fallas en esta fase II se originan básicamente por operación indebida de los equipos, sobrecarga en la capacidad de producción, cambios constantes en las condiciones funcionamiento, etc. En general se debe a causas inmediatas o básicas causadas por condiciones técnicas de equipos o del recurso humano
Fase III de envejecimiento
Etapa I de la fase III
Etapa II de la fase III
Etapa III de la fase III
Fallas de desgaste
Las fallas en esta fase III se fundamentan en el desgaste de los elementos, envejecimiento o la pérdida de funcionalidad. Son causadas por el exceso uso, desuso o abuso: se generan por el tiempo o por las inclemencias del entorno. Es la etapa de sustitución y reposición de los dispositivos y máquinas que llegan a la parte derecha de la curva cuando su mantenimiento es más costoso que reemplazarlos, o cuando su funcionalidad es más cara que sustituirlos por nuevos
1
constante
1
2
constante
2
o mayor

Elección de la Política de Mantenimiento según estado de Ciclo de Vida del Activo



			Cgc < Cgp
Mejorativa	Correctiva	Preventiva Cíclica	Cgc > Cgp Ci > (Cgc – Cgp)
			Cgc > Cgp Ci < (Cgc – Cgp)

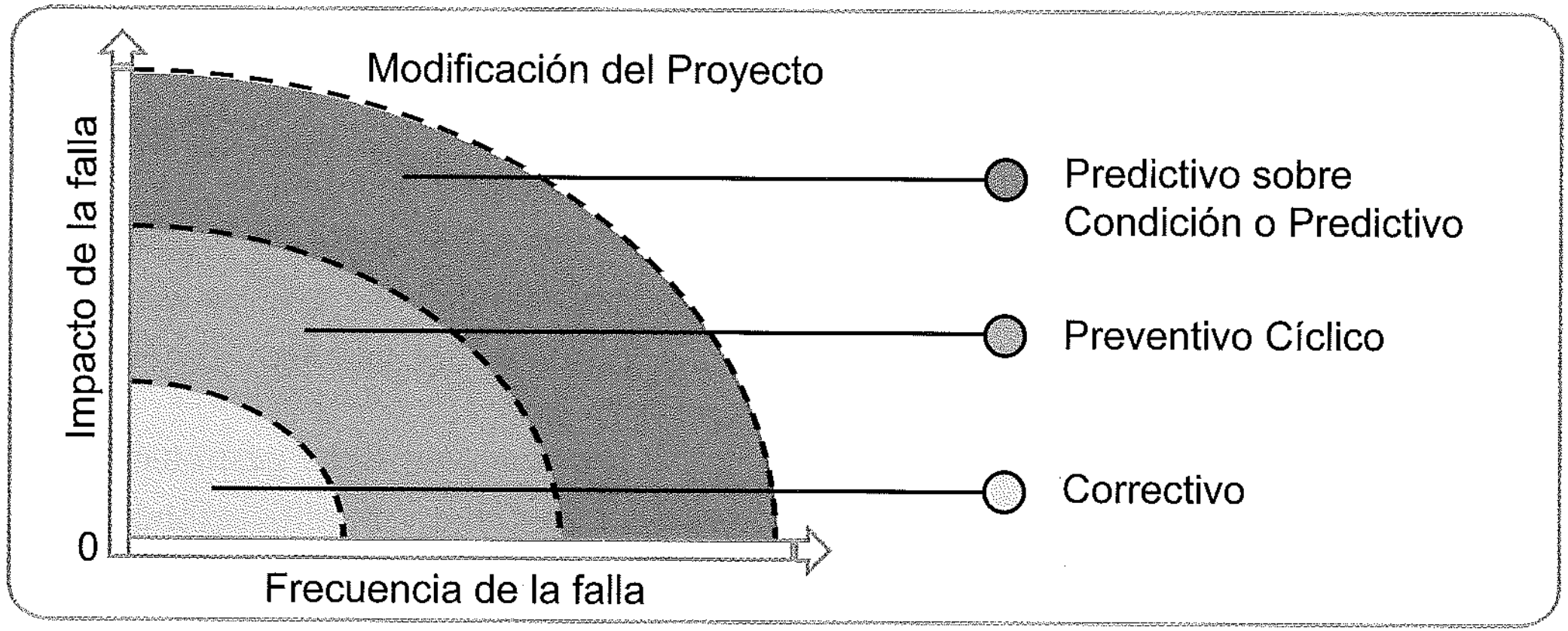
Cgc: Costo Global de Mantenimiento Correctivo
Cgp: Costo Global de Mantenimiento Preventivo
Ci: Costo de Inspección

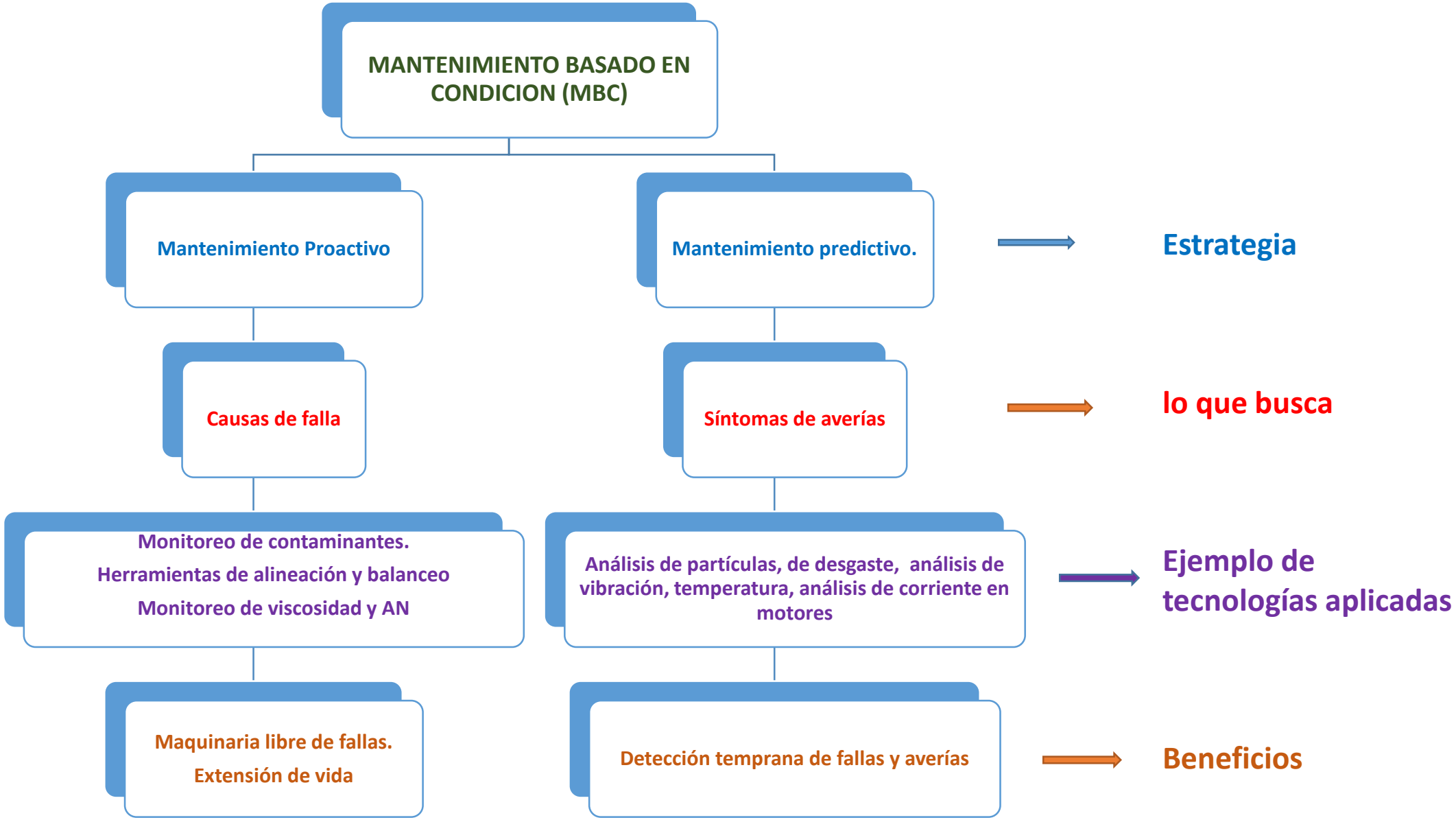

(Mantenimiento Sin desperdicios)
Mantenimiento Clase Mundial
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
RCM 2
1990-2000
RCM
1997
Mantenimiento Productivo Total
1980
1990 Mantenimiento Proactivo y Servicios de laboratorio
Mantenimiento Predictivo
1970-1980
1982 Instrumentos de análisis de aceites
Mantenimiento Preventivo
1970
1985 1er. Instrumento portátil de conteo de partículas
Mantenimiento Correctivo
1960
1975 Código ISO y estándares
1950

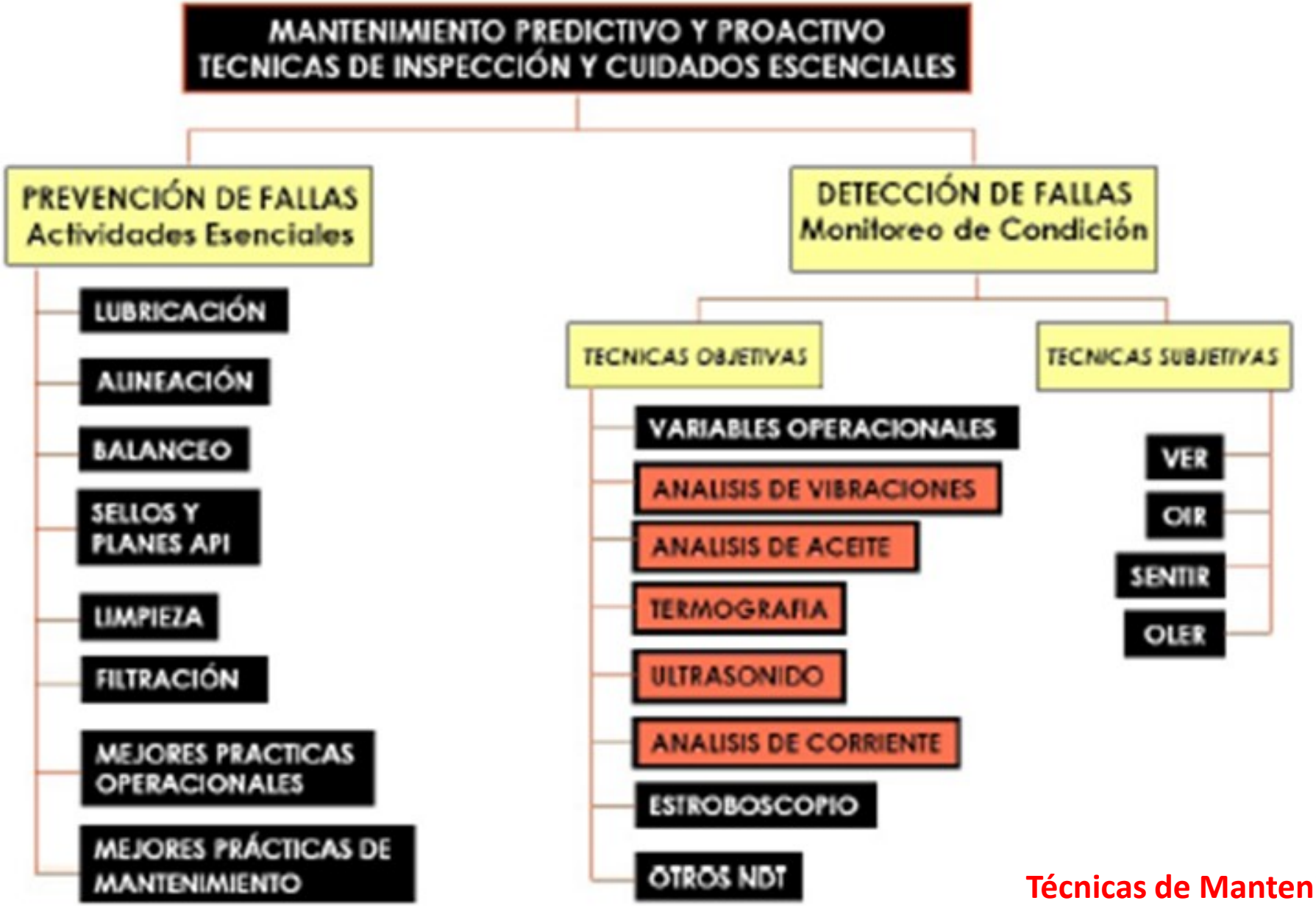
SIGLAS

- FTIR: Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier
- RPVOT, RBOT: Prueba de oxidación por recipiente rotativo
- COC: Cleveland Copa Abierta: (punto de inflamación)
- WPC: Wear Particle concentration
- WPA: Análisis de partículas de desgaste
- DR: Ferrogafía de lectura directa
- ICP: Inductively Coupled Plasma (detecta elementos)
- NGLI: National Lubrication Grease Instititute
- PAO: Poli Alfa Olefina
- XFR: Espectrometría de rayos X
- AES: Espectroscopía de emisión atómica,
- AAS: Espectrometria de absorción atómica
- IPQ: Indice de cuantificación de partículas (mide masa de partículas metálicas)
- UC: Clasificación de ultracentrifugadora

Factores de elección de las políticas de mantenimiento

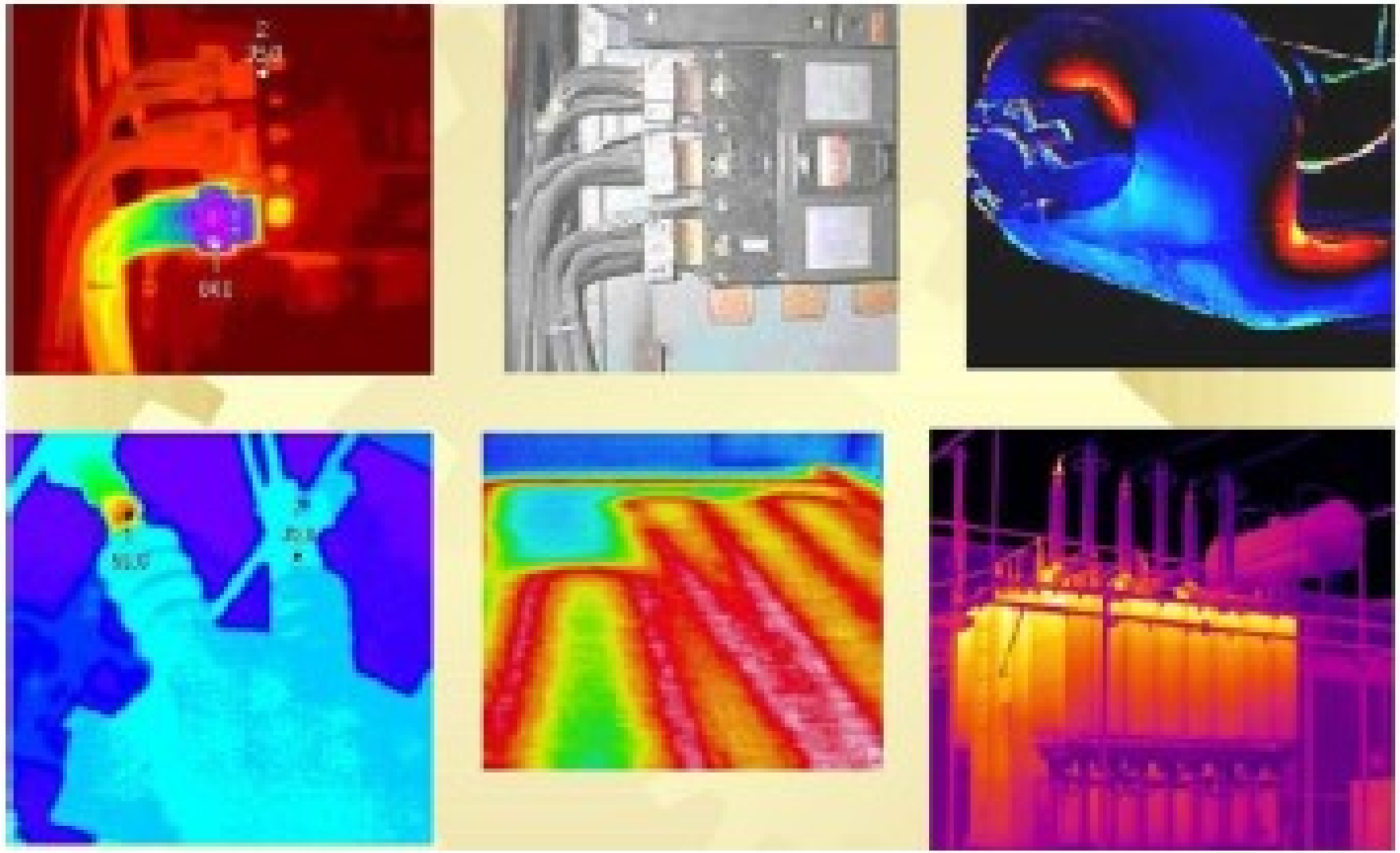



MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION (MBC)
Mantenimiento Proactivo
Mantenimiento predictivo.
Estrategia
Causas de falla
Síntomas de averías
lo que busca
Monitoreo de contaminantes.
Herramientas de alineación y balanceo
Monitoreo de viscosidad y AN
Análisis de partículas, de desgaste, análisis de vibración, temperatura, análisis de corriente en motores
Ejemplo de tecnologías aplicadas
Maquinaria libre de fallas.
Extensión de vida
Detección temprana de fallas y averías
Beneficios



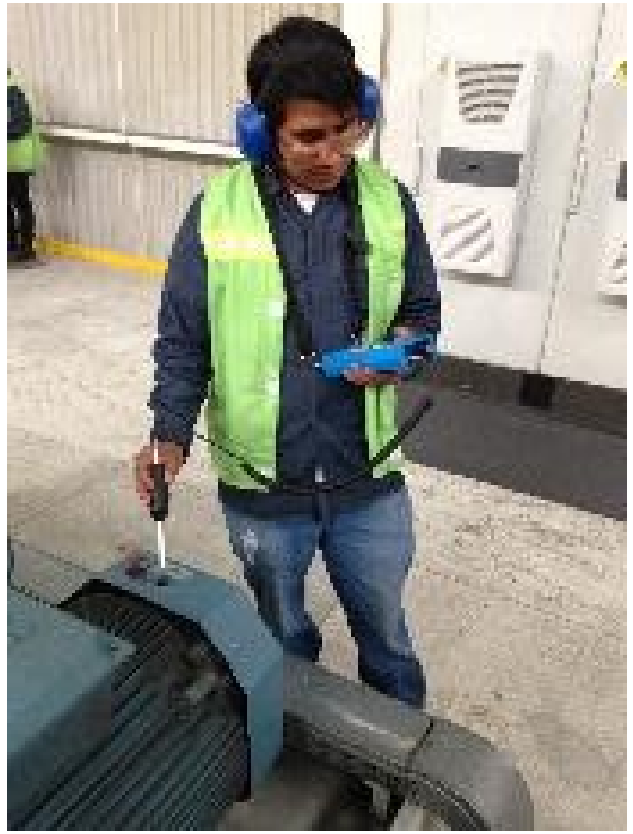
Técnicas de Mantenimiento Predictivo

6. Monitoreo eléctrico



ULTRASONIDO

FLUJO TURBULENTO

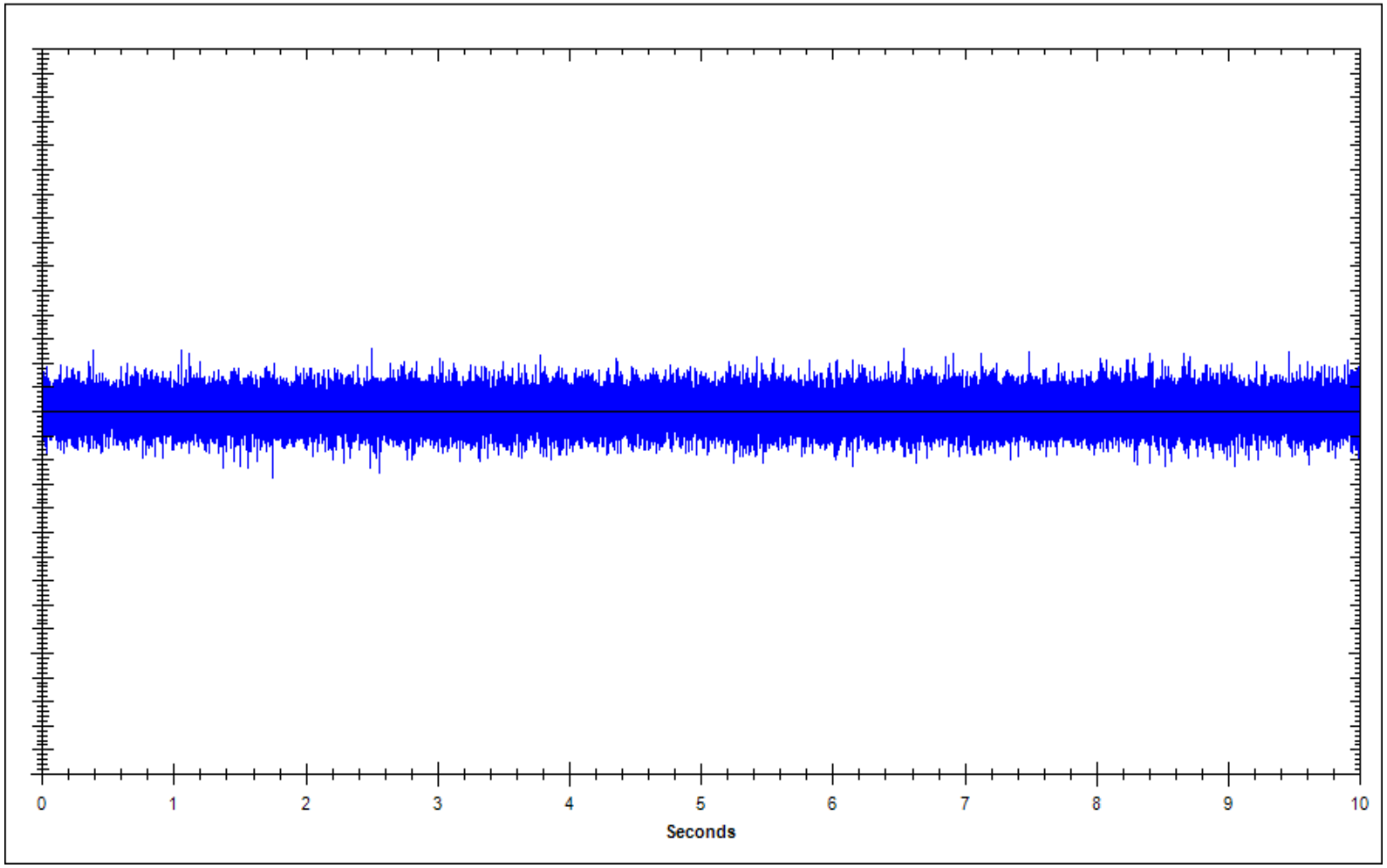


FRICCION & IMPACTOS

FUGAS ELECTRICAS

ULTRASONIDO

CENOSA\Motor elevador cangilones\rod lado ventilador (432-EC1A)\RS1NL100(DY-Ht)/432-EC1A sonido.wav_2012-08-17@10:43:35 AM
17/08/2012 10:43:35 AM

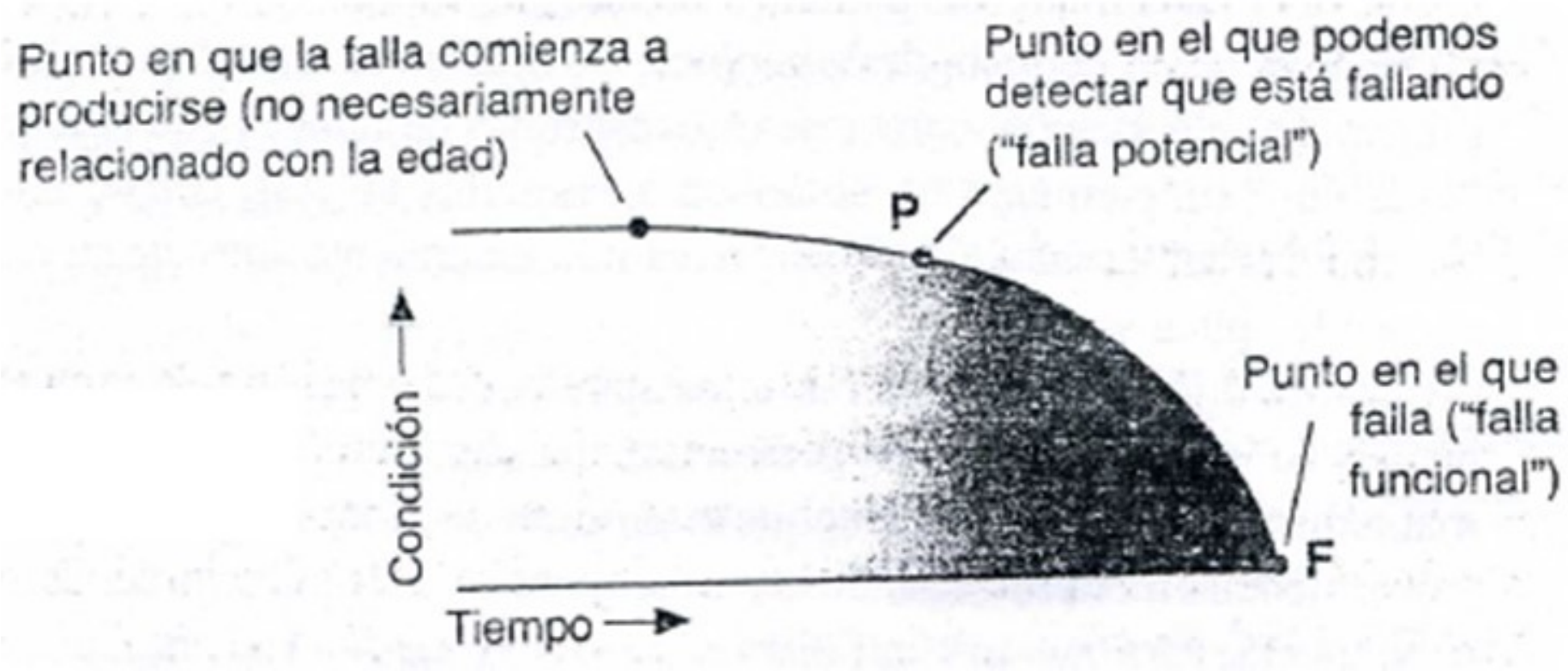


UTILIZAR LA MEJOR COMBINACION DE HERRAMIENTAS MBC PARA MAXIMIZAR LA SENSIBILIDAD DE DETECTAR PROBLEMAS DENTRO DEL INTERVALO P-F

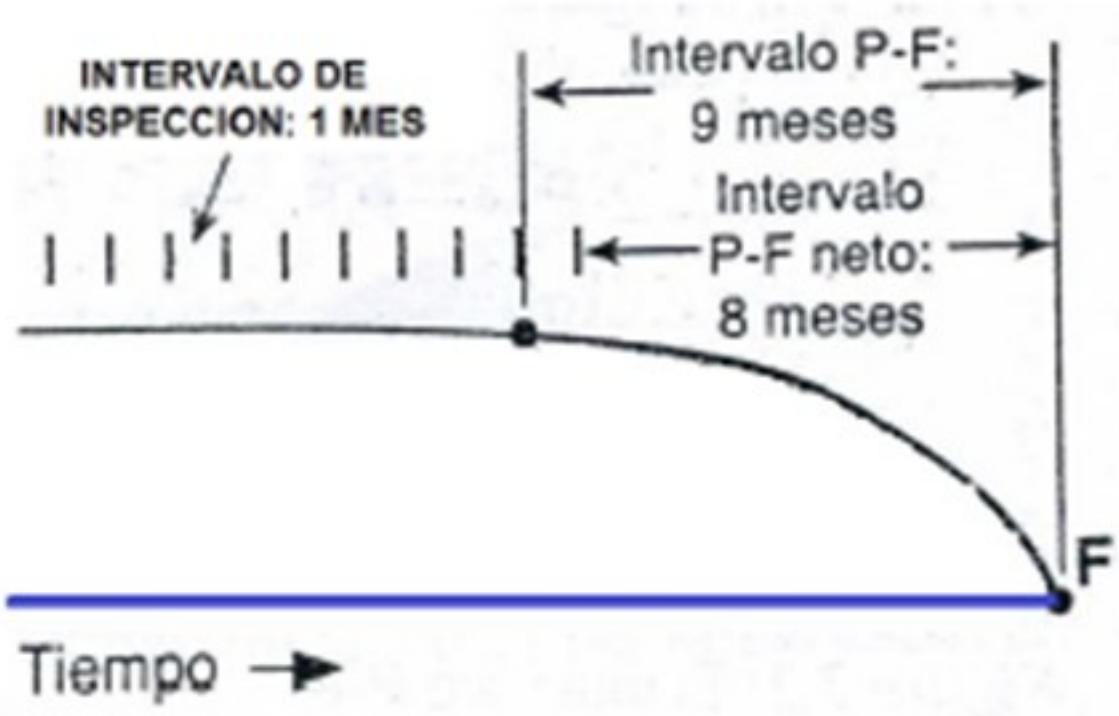
	DETECCION INTERVALO P-F (¿qué va a suceder?)			ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLAS (¿porqué sucedió?)		
	ANALISIS LUBRICANTE	ANALISIS VIBRACION	ANALISIS TERMICO	ANALISIS LUBRICANTE	ANALISIS VIBRACION	ANALISIS TERMICO
CONTROL CAUSA RAIZ						
CONTAMINACION LUBRICANTE	excelente	malo	malo	excelente	malo	regular
DESALINEAMIENTO	regular	excelente	regular	regular	excelente	regular
DESBALANCEO	regular	excelente	regular	malo	excelente	regular
LUBRICANTE INCORRECTO	excelente	malo	malo	excelente	malo	malo
LUBRICANTE DEGRADADO	excelente	malo	malo	excelente	malo	malo
ALTA TEMPERATURA OPERACIÓN	regular	regular	excelente	regular	regular	excelente
DETECCION DE FALLAS						
DESGASTE	excelente	bueno	regular	excelente	regular	regular
CAVITACION	bueno	malo	regular	regular	malo	regular
FRACTURA DIENTE ENGRANAJE	malo	excelente	malo	regular	regular	malo
RESONANCIA ESTRUCTURAL	malo	excelente	malo	malo	excelente	malo
FATIGA	excelente	bueno	bueno	excelente	regular	regular

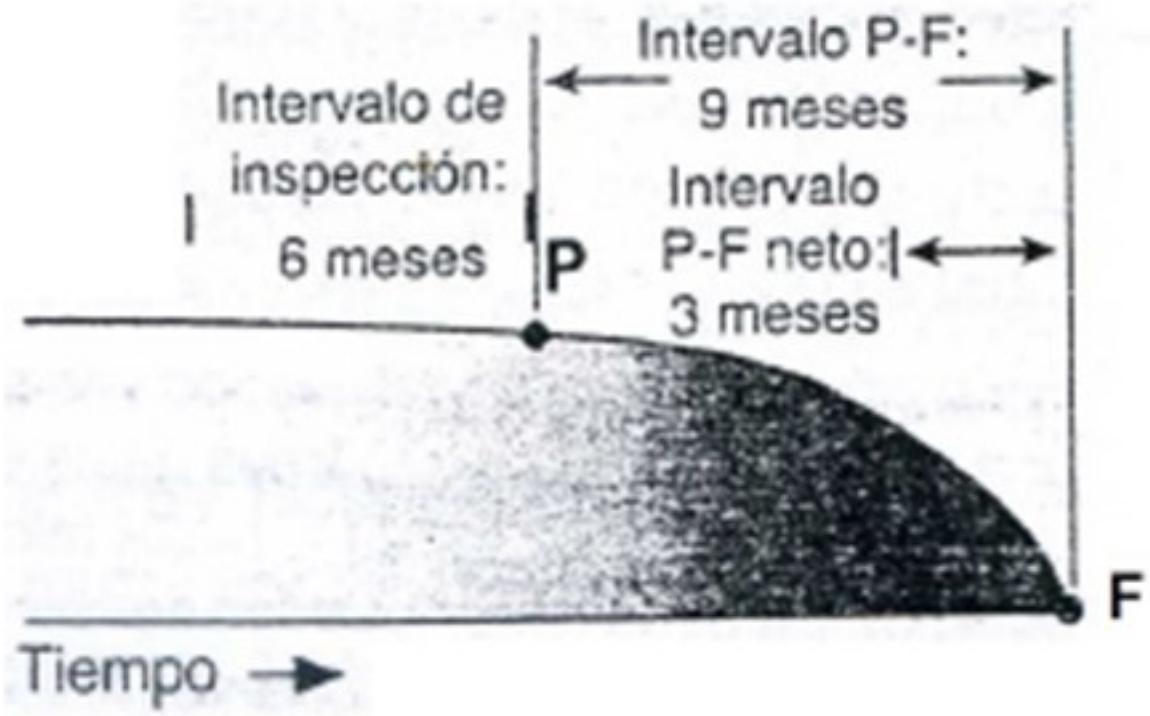
DISEÑE EL PROGRAM PARA ENFOCARSE DE MANERA PROACTIVA LA CAUSA RAIZ Y NO SOLO A LOS EFECTOS QUE SE PUEDEN VER

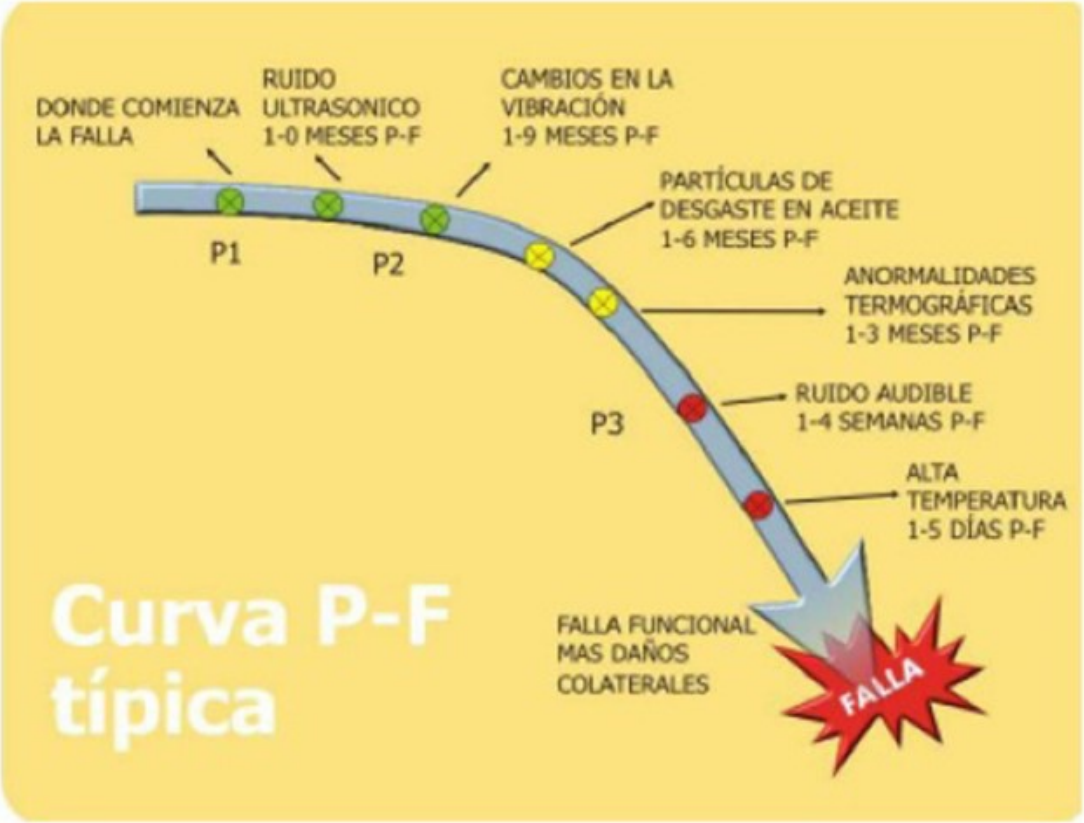
Tareas predictivas

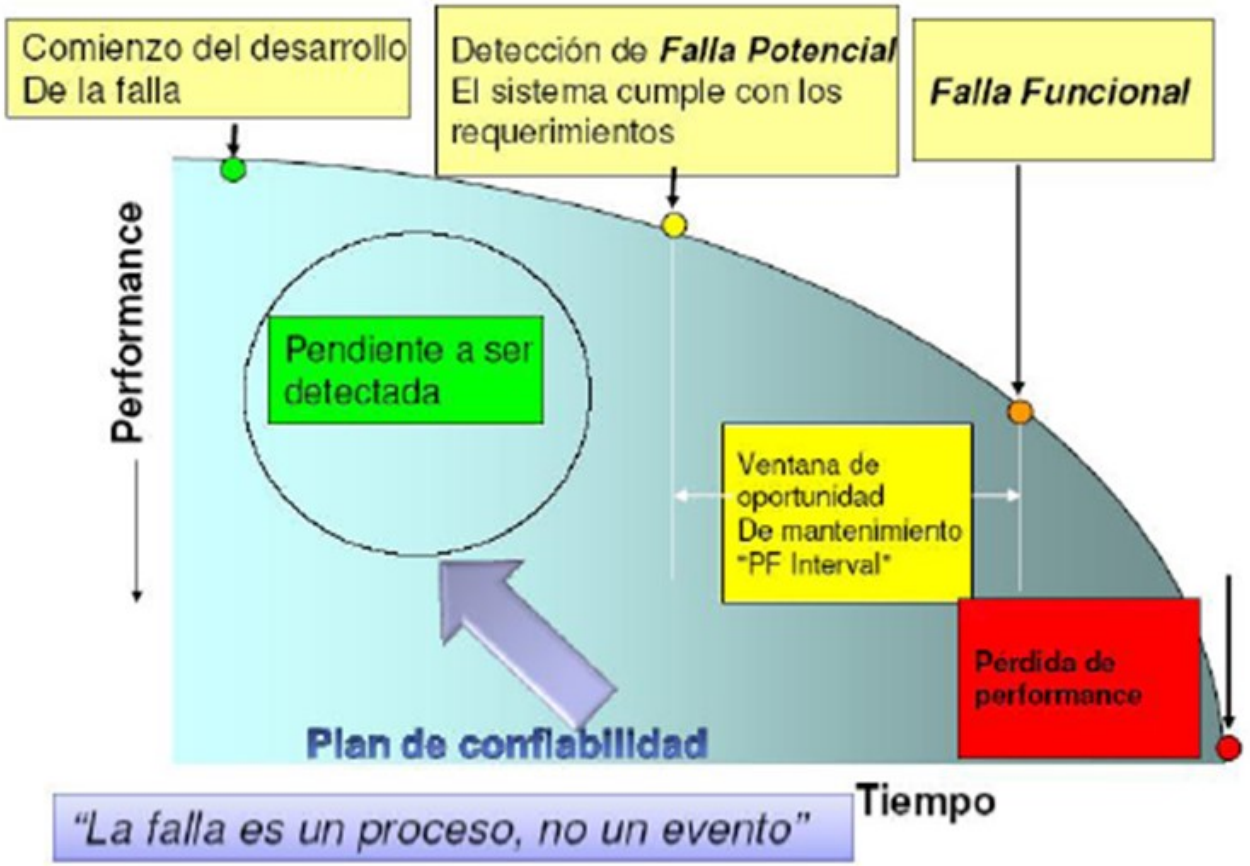


Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir


INTERVALO DE
INSPECCION: 1 MES
Intervalo P-F:
9 meses
Intervalo
P-F neto:
8 meses
F
Tiempo

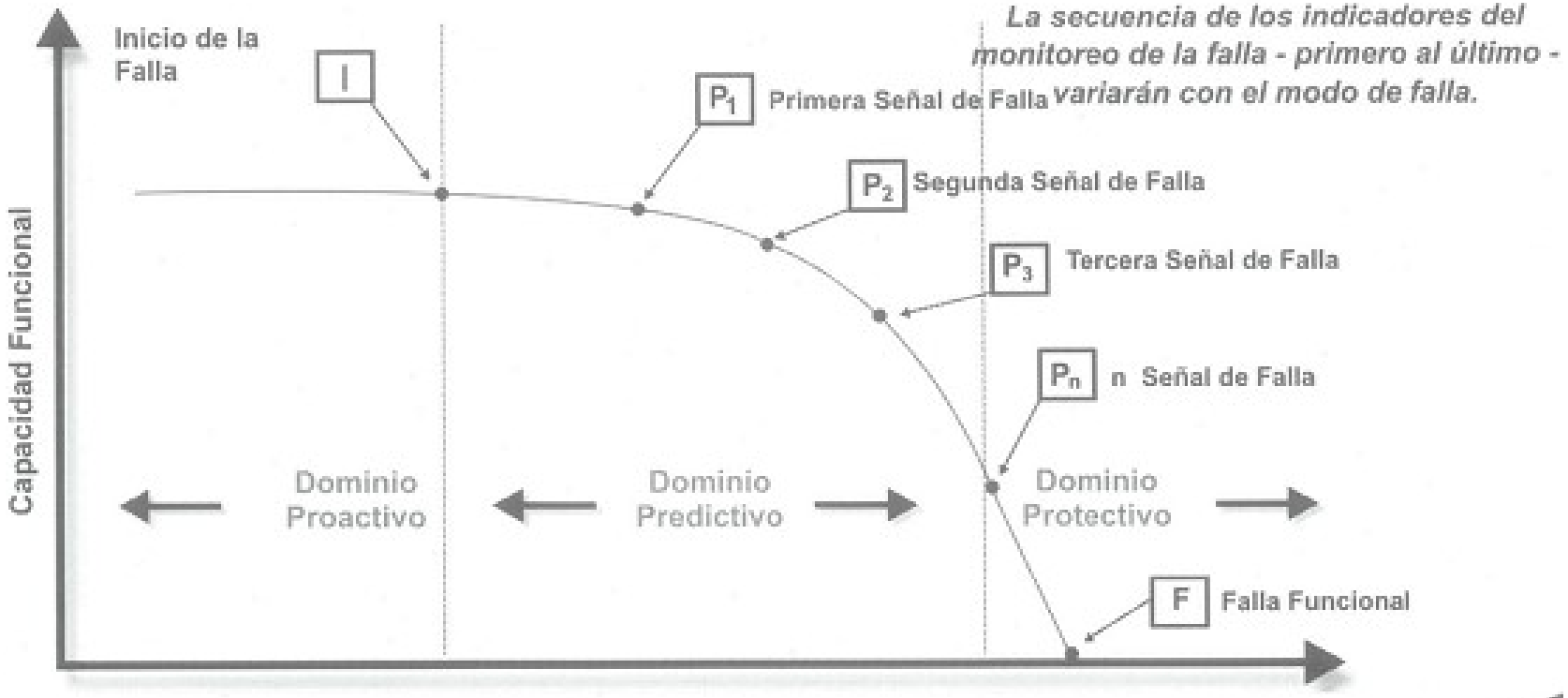

Intervalo de
inspección:
6 meses
Intervalo P-F:
9 meses
Intervalo
P-F neto:
3 meses
P
F
Tiempo


DONDE COMIENZA LA FALLA
RUIDO ULTRASONICO 1-0 MESES P-F
CAMBIOS EN LA VIBRACIÓN 1-9 MESES P-F
PARTÍCULAS DE DESGASTE EN ACEITE 1-6 MESES P-F
ANORMALIDADES TERMOGRÁFICAS 1-3 MESES P-F
RUIDO AUDIBLE 1-4 SEMANAS P-F
ALTA TEMPERATURA 1-5 DÍAS P-F
P1
P2
P3
FALLA FUNCIONAL MAS DAÑOS COLATERALES
FALLA
Curva P-F típica


Comienzo del desarrollo De la falla
Detección de Falla Potencial El sistema cumple con los requerimientos
Falla Funcional
Performance
Pendiente a ser detectada
Ventana de oportunidad De mantenimiento "PF Interval"
Pérdida de performance
Plan de confiabilidad
Tiempo
"La falla es un proceso, no un evento"

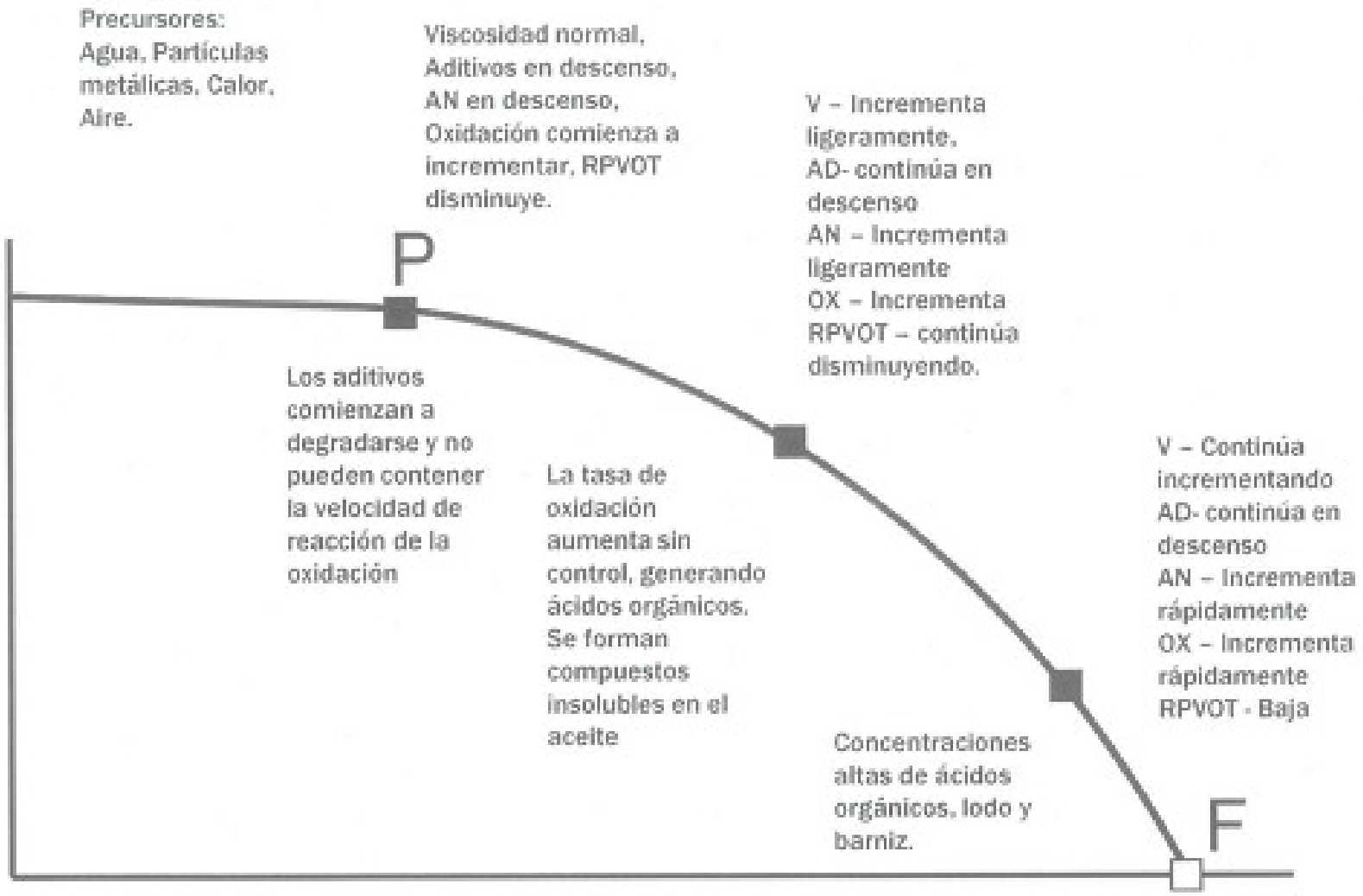
Desarrollo del modo de falla

Si entiendes cómo se desarrolla el modo de falla, te será más fácil reconocer los síntomas y además identificar el pronóstico (en qué etapa de evolución se encuentra la falla)



Progreso de modo de falla basado en P-F

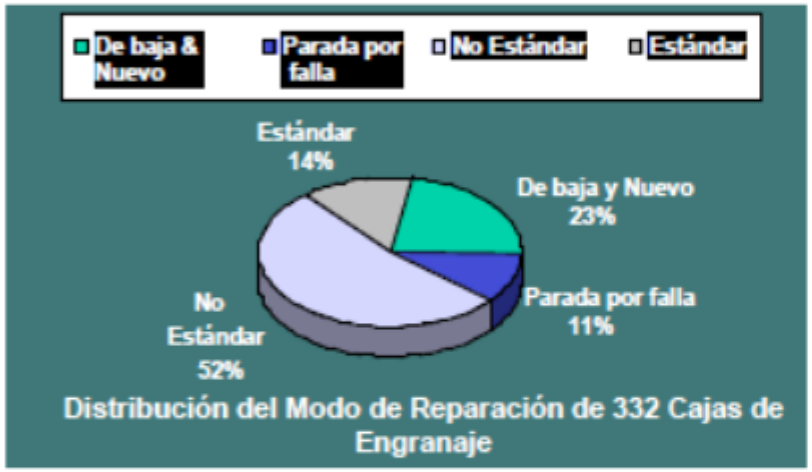
Modo de falla: OXIDACIÓN

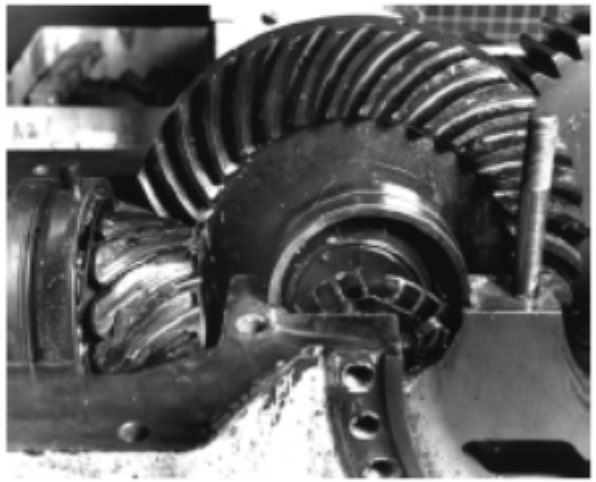


1. Mantención Reactiva

Funcionar hasta Fallar, es decir, Reparar o reemplazar una vez ocurrida la falla

Aplicación: No crítica. Los costos para controlar o detectar las fallas exceden los beneficios

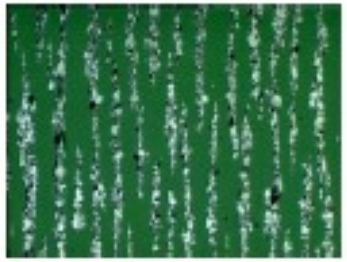


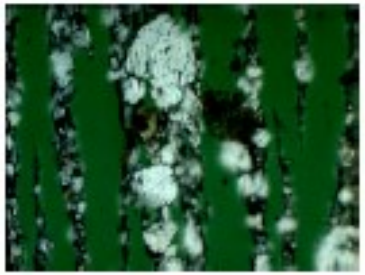


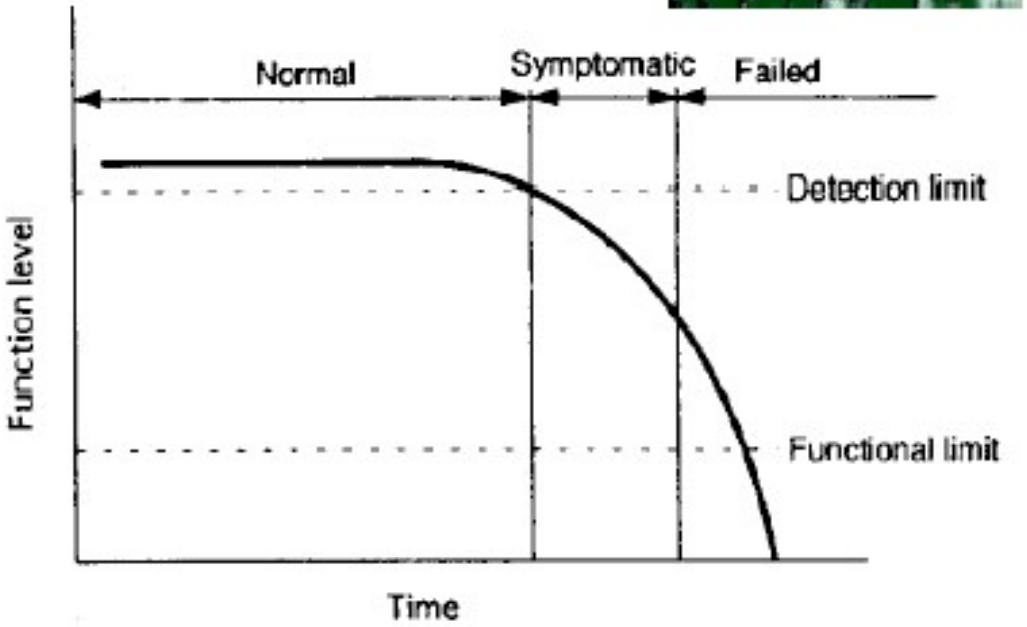
Un 86% de las cajas de engranajes se hizo funcionar hasta una parada por falla o a través del tiempo, 1997.

3. Mantención Predictiva

- Mantención de acuerdo a la condición
- Utiliza el monitoreo de condiciones para maximizar el tiempo de intervalo de P-F

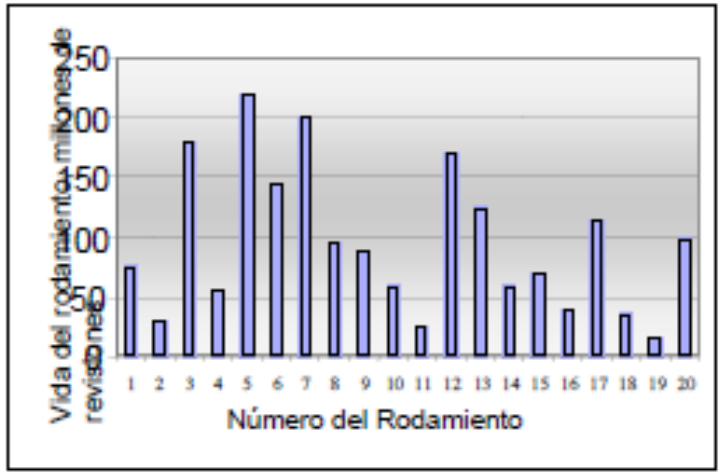




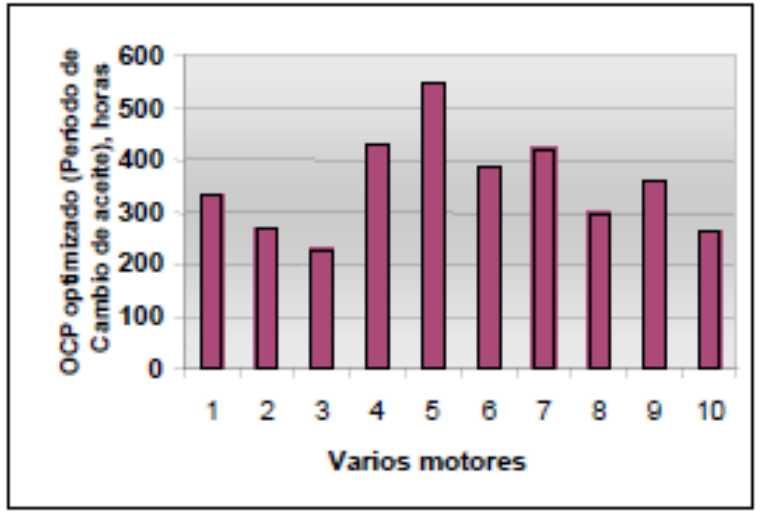


2. Mantención Preventiva

- Descarte o restauración programada
- Reparación o reemplazo en un tiempo determinado o en ciclos
- El bien tiene un MTBF (Tiempo Promedio Entre Fallas) bien documentado y una pequeña desviación estándar



Un rodamiento hecho funcionar hasta que falla en el puesto de prueba

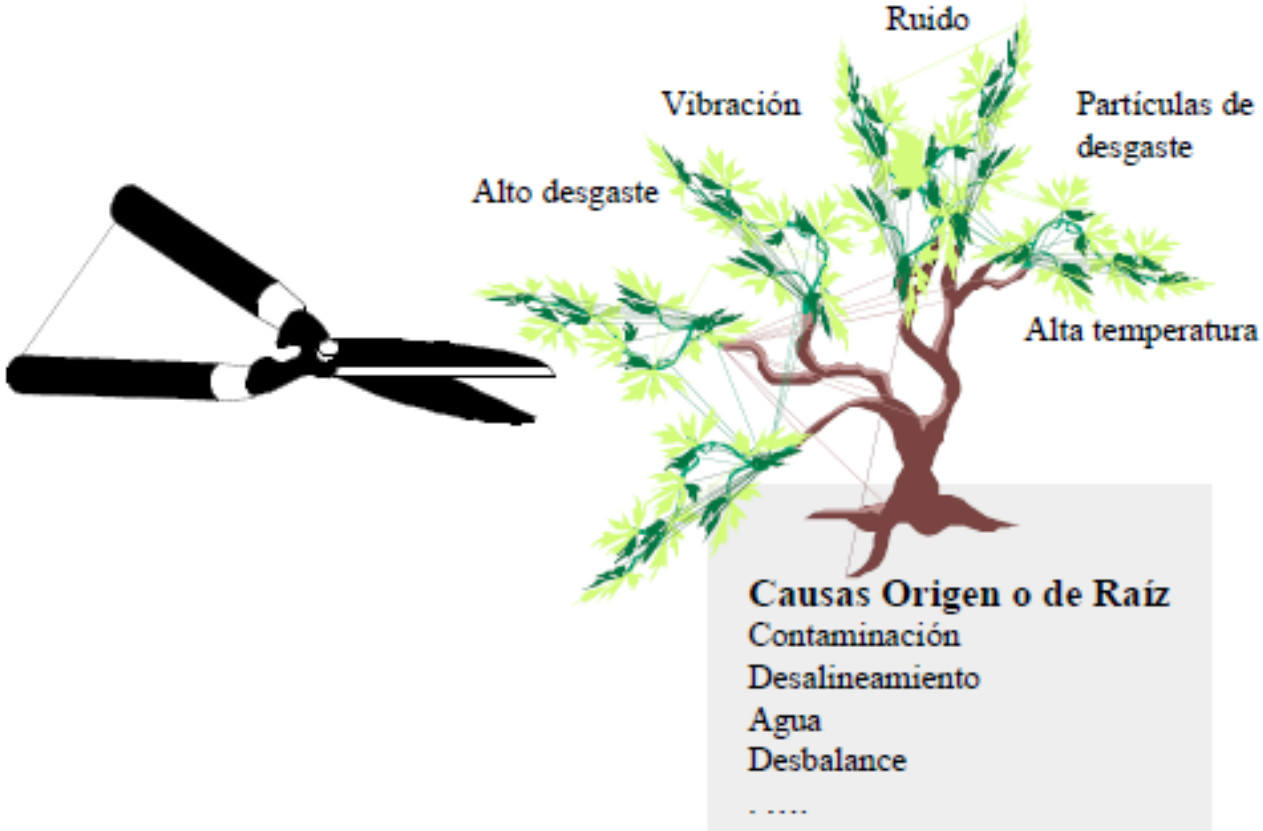


Intervalos programados de cambio de aceite del motor

Uno de cada tres dólares que se gastan en mantención preventiva se pierde - Revista Forbes.

4. Mantención Proactiva

- **Control** de la Condición y Re-diseño
- Eliminar las causas de origen o de raíz



Experiencia de la Industria de Energía

Estrategia de Mantención	Costo por hp Por año, US$
Proactiva	$0.1
Predictiva	$8
Preventiva	$13
Parada por falla	$18

Gestión de Activos

- Seguridad
- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Mantenibilidad

INGENIERIA DE CONFIABILIDAD

La Ingeniería de Confiabilidad utiliza la causa raíz de los problemas y las estadísticas de falla para identificar soluciones aplicables.

Herramientas

- **RCM, Reliability Centered Maintenance**
- **MONCON, Monitoreo de Condiciones**
- **RCA, Root Cause Analysis**
- **Weibull data analysis**
- **RBD, Reliability Block Diagrams**
- **Simulaciones**

RCM: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

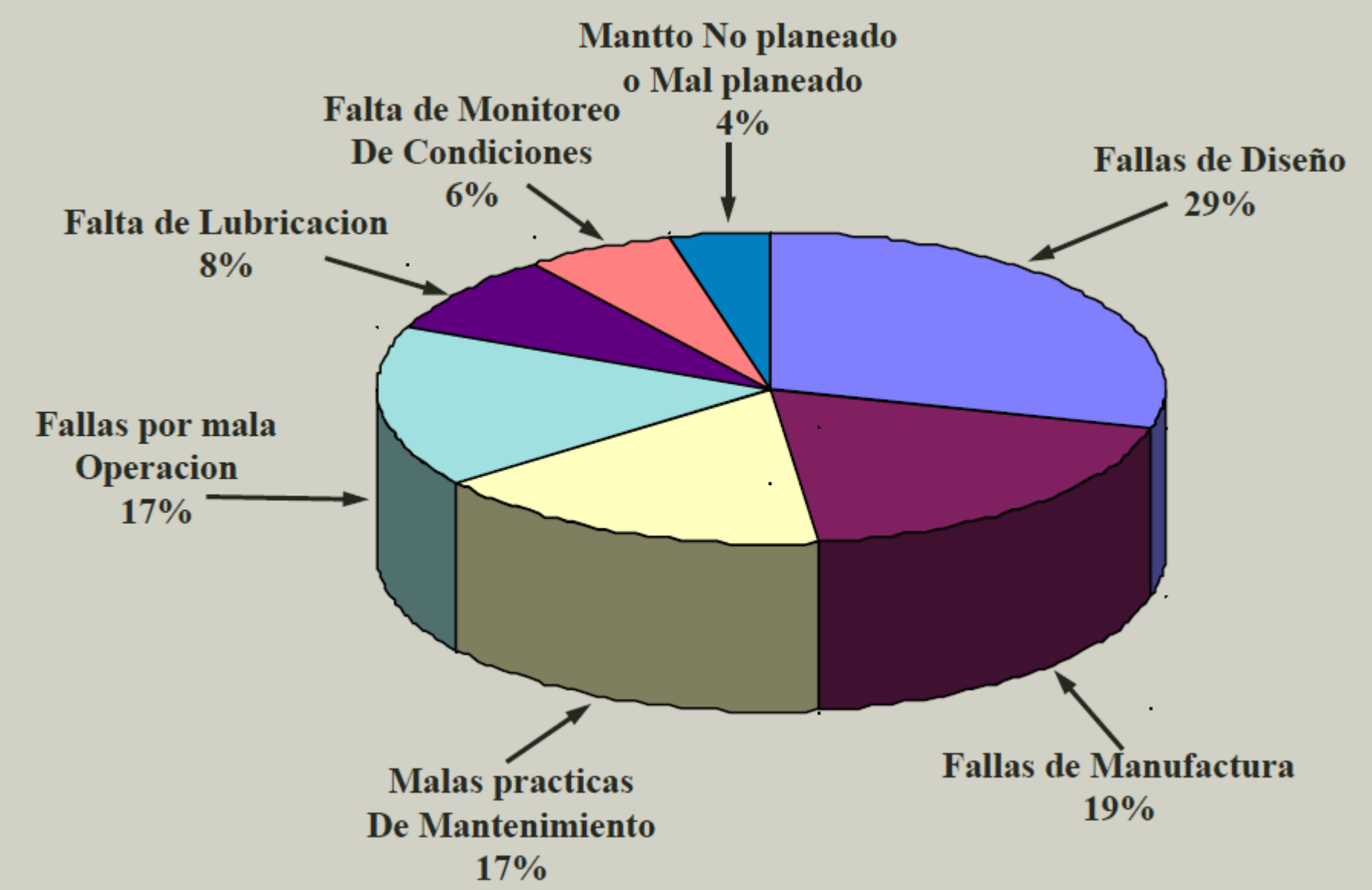
Mantenimiento:
Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
Proceso (herramienta) utilizado para determinar que debe hacerse, para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, en su contexto operacional actual.

Beneficios RCM

Calidad	Tipo de servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar. Elimina las fallas crónicas y elimina causas raíces. Aumenta la flexibilidad operacional. La programación de mantenimiento se basa en hecho reales. Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquinas, así como de sus causas	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo. Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes. Disminuye las paradas imprevistas. Genera un ambiente de investigación y desarrollo al rededor de los análisis de fallas.	Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40% Optimiza los programas de mantenimiento. Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%. Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales. Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo/ beneficio.	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%. Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio. Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursoso o repuestos. Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo. Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan. Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas. Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.

Estadísticas de Origen de Fallas



Estrategias para el Mantenimiento de los Equipos

Estrategia de Mantenimiento	Acción Requerida	Aplicación Basada en RCM
Operar hasta la falla (reactivo)	Reparación o reemplazo por falla	No crítico. Los costos de controlar o detectar la falla exceden los beneficios
Cambio o restauración programados (preventivo)	Reparación o remplazo por tiempo o por ciclos	El activo tiene un TMEF bien documentado y una desviación estándar pequeña
Mantenimiento por condición (predictivo)	Uso de monitoreo de condición para detectar fallas en etapas tempranas. Reemplazo o reparación se programa por condición	El activo falla al azar. Su naturaleza crítica justifica las técnicas de detección temprana
Rediseño y control de condición (proactivo)	Cambios a la maquinaria, carga o procedimientos. El monitoreo de condición detecta la presencia de causas raíz de falla	El objetivo es reducir la tasa de fallas durante un periodo de tiempo dado
Redundancia	Aplique sistemas para repartir la carga o sistemas redundantes de reserva	Activos de misión crítica para los cuales ninguna otra opción es aceptable

Pasos del RCM

Defina las funciones de los activos

- Funciones Primarias → productividad
- Funciones Secundarias → seguridad, ambiente, etc.

Defina las fallas funcionales

- ¿Qué constituye un estado de falla?
- ¿Cómo llega el activo a su estado de falla?

Identifique los modos de falla

- Deterioro
- Defectos de diseño
- Errores humanos

Identifique los efectos de la falla

- Evidencia de falla
- Daño físico
- Amenazas de la misión
- Requerimientos de restauración

Identificar las consecuencias de falla

- Consecuencias ocultas
- Consecuencias no operacionales
- Consecuencias de seguridad y ambientales
- Consecuencias operacionales

Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad (AMEF)

Seleccione la Estrategia de Mantenimiento Apropiado

- Operar hasta la falla
- Rediseño
- Reemplazo/reconstrucción programada
- Sistema redundante
- Mantenimiento basado en condición

Establece objetivos, define el problema y recoge la información básica.	*1. ¿Cuáles son las funciones?* *2. ¿De qué forma puede fallar?* *3. ¿Qué causa la falla?* *4. ¿Qué sucede cuando falla?*
Consecuencias de las fallas	*5. ¿Cuáles son las consecuencias de la falla?*
Estrategias de Mantenimiento	*6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir la falla?* *7. ¿Qué hacer si no se puede predecir o prevenir la falla?*

Elementos de un AMEF Para Lubricación

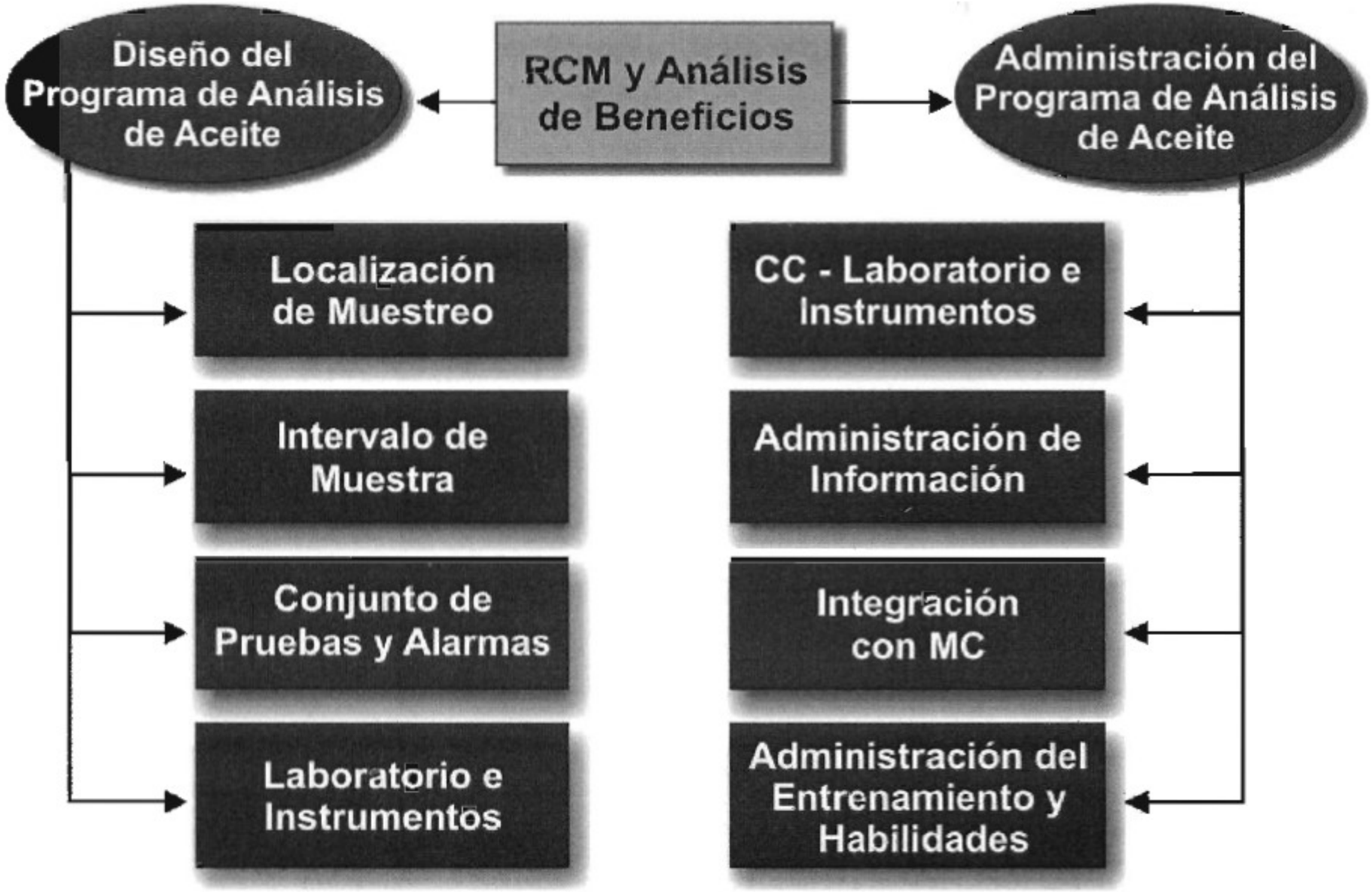
- "Falla de lubricante" es un término muy amplio
- Haga un Análisis de Modo Específico de Falla para la lubricación
- Identifique mecanismos efectivos de detección temprana.
- Estime el intervalo P-F

Algunos Modos de Falla Relacionados con Lubricación

- Pérdida de volumen repentina
- Bajos niveles
- Lubricante incorrecto
- Degradación
- Contaminación por partículas
- Contaminación por humedad
- Dilución química /combustible
- Contaminación por refrigerante
- Agotamiento de aditivos
- Espumación
- Falta o exceso de engrasado
- etc.

	Modo de falla de lubricación	Efecto posible	Criticidad	Causas posibles	Mecanismos de detección	Intervalo P-F
	¿Cuál es la naturaleza de la falla?	¿Qué sucede si ocurre la falla?	¿Cuál es la importancia y posibilidad de que ocurra?	¿Cuál es la causa que conduce a la falla?	¿Cómo puede detectarse la falla?	¿Recibimos advertencia de los sistemas de detección?
Ejemplo	Contaminación por agua	Herrumbre, oxidación del aceite	Falla del compresor	Fuga de refrigerante en el enfriador	Análisis de aceite en-sitio mensual, inspección de mirillas	Continuo para alto nivel de contaminación por agua

Logrando la Excelencia en Análisis de Aceite



MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD: RCM

Un proceso sistemático diseñado para determinar la estrategia de mantenimiento de cualquier activo físico en su actual contexto operacional

LUBRICACION CENTRADA EN CONFIABILIDAD: RCL

Determinación de las tareas de lubricación, inspecciones, control de contaminación y monitoreo de condición con base en el contexto operacional de la maquinaria

RCL: Rediseñar la máquina para que la tarea de lubricación pueda incrementar la confiabilidad en vez de adaptar la tarea en función del diseño actual de la maquina

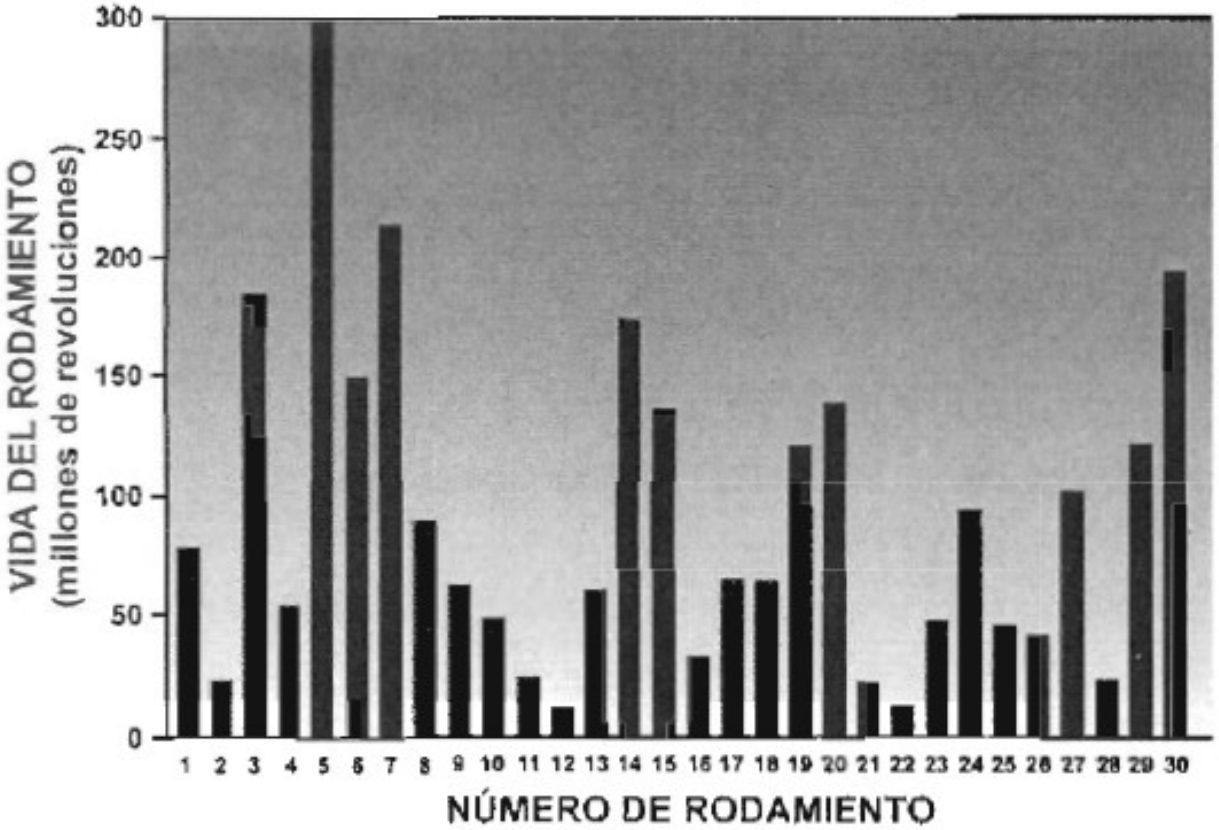
- **RCM** mira la "salud total" del activo; **RCL** se especializa en la "salud cardiovascular" (sistema de lubricación).

- Ambos pueden coexistir: el RCL suele ser un **sub-conjunto** dentro del análisis RCM cuando las fallas tribológicas son críticas.

Aspecto	RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad)	RCL (Lubricación centrada en confiabilidad)
Objetivo global	Garantizar que los activos cumplan sus funciones requeridas de forma segura y rentable durante su vida útil.	Garantizar que el lubricante y el sistema tribológico cumplan su función (reducir fricción, evacuar calor, proteger contra corrosión) de forma confiable.
Enfoque	Sistema completo (máquina/proceso). Analiza todas las fallas posibles y sus consecuencias.	Sub-sistema tribológico (rodamientos, engranajes, cilindros, sellos). Analiza fallas primarias ligadas al lubricante y al contacto superficies-lubricante.
Metodología típica	- FMEA/RCM2	- Análisis de aceite y desgaste (AO/AW)
Activos críticos	Todos los equipos que impacten seguridad, medio ambiente o producción.	Equipos con alta carga, alta velocidad, alta temperatura o ambientes hostiles donde la falla tribológica sea dominante.
Indicadores clave	- MTBF	- Contaminación ISO/NAS
Tareas típicas	- Mantenimiento preventivo basado en tiempo/uso	- Lubricación correctiva de viscosidad o aditivos
Responsables	Equipo multidisciplinario (mantenimiento, ingeniería, operaciones, seguridad).	Ingeniero tribólogo o coordinador de lubricación junto al técnico de mantenimiento.
Herramientas digitales	CMMS/EAM, RCM software, analíticas de confiabilidad.	Laboratorio de análisis de aceite, software de gestión de lubricantes, sensores de nivel/contaminación online.
Resultados esperados	- Reducción de fallas funcionales	- Extensión de vida útil de rodamientos y engranajes

La Naturaleza Aleatoria de las Fallas

Operación de rodamientos hasta la falla en un equipo de prueba



- TMEF = 93 millones de revoluciones
  (Tiempo Medio Entre Fallas)
- DE = 70 millones de revoluciones
  (Desviación Estándar)
- Si programamos la reparación @ 95% de nivel de confianza = - 23 millones de revoluciones

** El reemplazo o cambio programado no es una opción práctica para la mayoría del equipo de planta*

- Supervisión del estado de la máquina o mantenimiento predictivo es la práctica de evaluar la condición de una máquina

- Recopilación periódica de datos sobre el estado clave de la máquina

- Indicadores para determinar cuándo programar el mantenimiento.

- Una de las claves para mantener la maquinaria en funcionamiento con rendimiento óptimo implica monitorear y analizar aceites lubricantes en características tales como: contaminación, Contenido químico y viscosidad.

- Miles de millones de dólares son gastados anualmente reemplazando los componentes de la maquinaria que se han desgastado debido a la incapacidad de los lubricantes para realizar la tarea requerida.

- Saber interpretar el cambio de las propiedades del lubricante puede aumentar tanto el tiempo de actividad y la vida útil de su capital de misión crítica equipo.

- La existencia o cantidad de partículas de piezas de desgaste, erosión y contaminación, proporciona información sobre los problemas que afectan el rendimiento y la confiabilidad

PROBLEM/ CONDICION	ANALISIS DE ACEITE (AA)	ANALISIS DE VIBRACION (AV)	OBSERVACIONES
Inicio de falla de un rodamiento	Buena detección temprana	Detección tardía	Las fallas comunes de rodamientos son detectadas mejor por el AA
Inicio de fallas en cojinetes planos	buena detección temprana	Detección tardía	Las rebabas serán localizadas por el AA antes que haya rozamiento o falta de ajuste
Desbalanceo	N/A	Buena detección temprana	El AA puede encontrar previamente el desgaste presente
Agua en el lubricante	Buena detección temprana	N/A	El AV puede detectar la fase final del problema
Problemas con rodamientos engrasados	N/A	Detección tardía	Algunos laboratorios están haciendo ferrografía y análisis de elementos en grasas
Rotura de ejes	N/A	Buena	AV es mejor
Desgaste anormal de engrane	Buena detección temprana	Detección tardía	El AV puede identificar defectos de cada engrane. El AA detecta desgastes anormales
Desalineamiento	Detección tardía	Detección temprana buena	Hay desalineamientos dificiles de detectar con el AV. El AA detecta el desgaste de ese desalineamiento
Análisis de la causa raiz de la falla	Fortaleza	Fortaleza	Recomendable usar ambas técnicas que se complementen
Concentración de partículas en aceite	Fortaleza en detección temprana	N/A	AA detecta desgaste. El desgaste abrasivo es peligroso.
Resonancia	N/A	Fortaleza	AV muy aconsejable.
Oxidacion del aceite y degradaciónde aditivos	Fortaleza	N/A	AA muy aconsejable
Uso de lubricante inadecuado	Fortaleza	N/A	Fundamental el AA

Programa de Lubricación

- Tiene como objetivo cambiar la cultura de utilizar periódicamente la pistola engrasadora y la aceitera por herramientas de diagnóstico que conlleven a lubricar los equipos rotativos cuando realmente sea necesaria.

Programa de Lubricación

Desarrollo:

- Adquisiciones, Revisión y Racionalización de Lubricantes
- Elaboración de Planes y Procedimientos de Lubricación
- Elaboración del Manual de Lubricación de la Planta
- Seguimiento y Almacenamiento adecuado

PLAN DE LUBRICACION

- LUBRICACION CORRECTIVA
- LUBRICACION PREVENTIVA
- LUBRICACON PREDICTIVA
- LUBRICACION PROACTIVA
- RUTAS TRIBOLOGICAS
- GESTION AMBIENTAL
- CAPACITACION

Tres Categorías del Análisis de Aceite

Qué se analiza	1. Propiedades del fluido	2. Contaminación	3. Partículas de desgaste
Pruebas posibles:	Propiedades físicas y químicas del aceite en uso (proceso de envejecimiento)	Contaminantes que destruyen al lubricante y la máquina	Presencia e identificación de partículas de desgaste
Conteo de partículas	○	●	◒
Análisis de humedad	○	●	○
Análisis de viscosidad	●	◒	○
Concentración de partículas de desgaste	○	○	●
Ferrografía analítica	○	◒	●
AN/BN	●	◒	◒
FTIR	●	◒	○
Prueba de membrana	○	●	◒
Punto de inflamación	◒	●	○
Análisis de elementos	●	◒	●
	Proactivo	Proactivo	Predictivo

● Alto beneficio ◒ Beneficio menor ○ Sin beneficio

Análisis de Aceite

- Tres Categorías

Proactivo

Propiedades
- ➜Viscosidad
- ➜TAN/TBN
- ➜FTIR

Proactivo

Contaminación
- ➜Conteo de Partículas
- ➜Humedad
- ➜Punto de Inflamación

Predictivo

Desechos del Desgaste
- ➜Análisis de los Elementos
- ➜Densidad del Desecho Ferroso
- ➜Filtrograma / Ferrograma

Una Buena Muestra

GESTION AMBIENTAL

Conservación del ambiente, tanto interno como externo en Planta. Sus objetivos son los de implementar políticas que conduzcan a minimizar el efecto negativo que tienen los aceites minerales usados sobre su entorno y a disminuir el consumo de lubricantes.

- Programa de recolección de los aceites usados
- Diálisis de los aceites recolectados
- Utilización de lubricantes biodegradables y no tóxicos

LUBRICACIÓN PREDICTIVA

Lubricar por condición y no bajo una frecuencia determinada.

- Ruta de Tribología
- De operaciones
- De mantenimiento
- Análisis Físico-Químico del aceite según las Normas ASTM
- Conteo de Partículas según ISO 4406/99.
- Proceso de Flushing
- Prefiltración de aceites nuevos

LUBRICACIÓN PREVENTIVA

Asegurar que todos los equipos rotativos de se lubriquen sistemáticamente dentro de una frecuencia determinada, contando adicionalmente con un verdadero control de los costos de lubricación y con un registro de las anomalías que presentan los equipos.

- Especificación de equipos lubricados
- Especificación de programas
- Programa Sistematizado de Lubricación
  - Software

LUBRICACIÓN PROACTIVA

Corregir el origen de una falla real ó potencial y alcanzar la Vida Disponible ó de diseño de los mecanismos de los equipos rotativos con base a:

Control de la temperatura de operación

La filtración del aceite, con el fin de mantenerlo dentro de los grados de limpieza exigidos por la Norma ISO 4406/99, de acuerdo con el tipo de mecanismo lubricado, controlando de esta manera el desgaste erosivo y abrasivo; utilización de lubricantes de mejor desempeño.

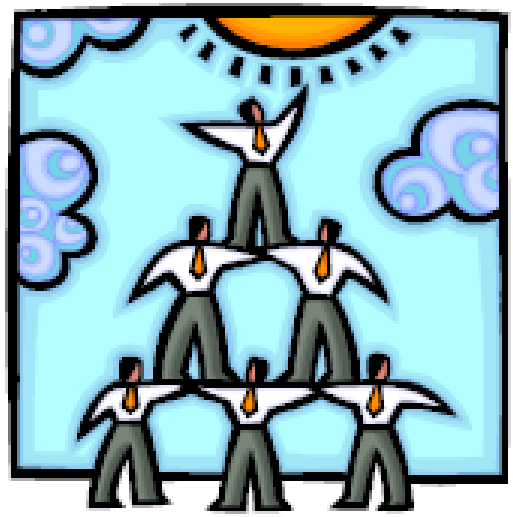
Análisis de los registros históricos

PROGRAMA DE CAPACITACION

Para que el *Programa de Lubricación Productiva* sea exitoso debe contar con programas de capacitación teórico-prácticos en Tribología y lubricación para el personal de lubricación y mantenimiento de la Empresa.

Evaluación del nivel de conocimientos en Lubricación y Tribología

Charlas y seminario sobre Lubricación y Tribología



- El PL tiene éxito cuando esta enmarcado dentro la filosofía de la gerencia que involucre a todo el personal de mantenimiento y producción de tal manera que todos tengan objetivos comunes que faciliten la implementación de las nuevas tendencias en Tribología y en Lubricación.

Lubricación

Mecánicos, Operadores

Programa de lubricación

- Información del estado real de la lubricación de los mecanismos.
- Determina con exactitud en que momento se deben lubricar y que cantidad de lubricante se les debe aplicar.

Programas que permitan eliminar la probabilidad de que se presenten fallas catastróficas, reduciendo el desgaste y prolongar su vida de servicio.

Herramientas Base- Análisis FODA

Para evaluar el entorno del plan de lubricación se realiza un estudio externo (amenazas y oportunidades) y un estudio interno (fortalezas y debilidades), y poder encontrar una estratégica de servicios adecuada.

Permitiendo determinar las verdaderas posibilidades que tiene la empresa para alcanzar los objetivos que se tiene establecidos.

Figura geométrica para identificación de la frecuencia de lubricación.

SIMBOLO	FRECUENCIA	SIMBOLO	FRECUENCIA
	CADA TURNO		MENSUAL
	DIARIO		BIMENSUAL
	CADA DOS DIAS		TRIMESTRAL
	DOS VECES SEMANAL		SEMESTRAL
	SEMANAL		ANUAL
	QUINCENAL		

Cartas de lubricación

N.	Aplicación		Tipo de lubricante				Método de lubricación	Frecuencia de lubricación	Cantidad de lubricante		Código Color	Símbolo Frecuencia de lubricación
	Componente	Mecanismos	Mineral		Sintético				Bombeos	litros (g)		
			Aceite	Grasa	Aceite	Grasa						
1	Reductor del Motor eléctrico A1J02	Engranajes y rodamientos de rodillos a rótula	ISO 220 EP				Lubricación por salpique	1M		10	OMALA EP 220	ISO EP 220
2	Rodillo conductor A1J02	Rodamientos de rodillos a rótula lado transmisión y lado opuesto		NGLI 2 EP			Lubricación por grasera	1S	4	(34)	ALVANIA EP NGLI 2 EP	NGLI 2 EP

Los carruajes egipcios de la antigüedad utilizaron grasas de plantas y animales para lubricación

El petróleo es una fuente natural para la lubricación, pero requiere de refinamiento químico

Lo Que el Análisis de Aceite Puede Decirle

	Detección de la causa raíz de falla	Detección de falla incipiente	Diagnóstico del problema	Pronóstico de la falla	Autopsia
Lo que dice el análisis de aceite	Está ocurriendo algo que puede llevarle a la falla – condiciones de causa raíz	Existe una falla en etapa temprana que de otra manera pasaría desapercibida – por ejemplo, desgaste anormal	¿Cuál es la naturaleza del problema observado? • ¿De dónde proviene? • ¿Cuál es el modo de falla? • ¿Cuál es la causa raíz?	• Qué tan severa o amenazante es la condición? • ¿Cuánto tiempo de vida le queda? • ¿Se requiere implementar medidas correctivas?	• ¿Qué provocó la falla? • ¿Podría haberse evitado?
Lo que usted monitorea	Partículas, agua, viscosidad, temperatura aditivos, oxidación, AN/BN, hollín, glicol, FTIR, RPVOT	Concentración de partículas de desgaste, temperatura, conteo de partículas, humedad, análisis de elementos, viscosidad, ferrografía analítica	Partículas de desgaste por AES, agua, conteo de partículas, temperatura, viscosidad, ferrografía analítica, análisis de vibraciones	Desgaste por análisis de elementos (AES), ferrografía analítica, análisis de vibraciones, temperatura	Ferrografía analítica, densidad ferrosa, desgaste por AES
Modo de mantenimiento	Proactivo	Predictivo	Predictivo	Operar hasta la falla	Operar hasta la falla
Beneficio relativo*	10	6	3	2	1

*10 = Alto, 1 = Bajo

PRUEBAS BASICAS

ANALISIS	Motores Diesel y Gasolina	Engranes Industriales	Compresores de aire y gas	Sistemas hidráulicos	Turbinas gas y vapor
Espectrometría	Si	Si	Si	Si	Si
Viscosidad @ 100°C	Si				
Viscosidad @ 40°C		Si	Si	Si	Si
Hollín	Si				
Oxidación	Si		Si	Si	Si
Sulfatación	Si				
Nitración	Si				
Indice de Viscosidad	Si	Si	Si	Si	Si
Dilución combustible	Si				
Conteo de Particulas	Si	Si	Si	Si	Si
AN		Si	Si	Si	Si
BN	Si	Si			
Contenido de agua %	Si	Si	Si	Si	Si